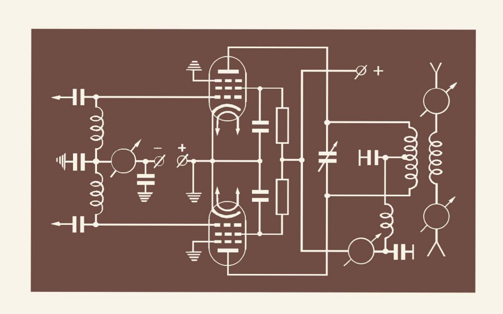
К. А. ШУЛЬГИН

КОНСТРУИРОВАНИЕ ЛЮБИТЕЛЬСКИХ КОРОТКОВОЛНОВЫХ ПЕРЕДАТЧИКОВ



ГОСЭНЕРГОИЗДАТ

МАССОВАЯ РАДИО БИБЛИОТЕКА
ПОД ОБЩЕЙ РЕДАКЦИЕЙ АКАДЕМИКА А. И. БЕРГА

Выпуск 125

К. А. ШУЛЬГИН

КОНСТРУИРОВАНИЕ ЛЮБИТЕЛЬСКИХ КОРОТКОВОЛНОВЫХ ПЕРЕДАТЧИКОВ

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
МОСКВА 1951 ЛЕНИНГРАД

51059

Брошюра предназначена для рядовых любителей-коротковолновиков, имеющих элементарные знания по электро-радиотехнике.

Она знакомит читателя с работой лампового генератора, физическими процессами, происходящими в цепях коротковолновых передатчиков, правилами построения схем отдельных ступеней и всего передатчика в целом. Кроме того, в ней даются практические указания по выбору схем, конструированию отдельных деталей и узлов передатчика, конструктивные соображения по изготовлению всего передатчика и, наконец, методы настройки и налаживания любительских коротковолновых передатчиков.

Редактор *Л. В. Троицкий* Техн. редактор *Г. Е. Ларионов*

Сдано в пр-во 11/VII 1951 г Подписано к печати 13/XI 1951 г.
Бумага $82 \times 108^1/_{32} = 2^1/_8$ бум. л. 6,97 п. л. 8,2 уч.-изд. л.
Т-08948. Тираж 25 000 экз. Зак. 1259

Типография Госэнергоиздата. Москва, Шлюзовая наб., 10.

ВВЕДЕНИЕ

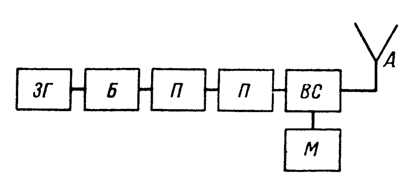
Успехи и достижения коротковолновика в установлении дальних радиосвязей, результаты в различных соревнованиях и эстафетах в значительной степени зависят от конструкции и качества выполнения передающей части его радиостанции. Только при хорошо продуманной схеме, удачном расположении деталей, блоков и органов управления, тщательной подгонке отдельных ступеней и налаженности всей радиостанции в целом можно добиться надежной и устойчивой радиосвязи, устанавливать различные рекорды, занимать призовые места в соревнованиях. Кроме того, по качеству работы радиостанции в эфире судят обычно о технических знаниях и достижениях коротковолновика.

Всякая передающая радиостанция состоит из следующих основных частей: генератора электрических колебаний высокой частоты, или собственно передатчика, антенного устройства, излучающего энергию колебаний высокой частоты в пространство, и, наконец, источников питания, снабжающих радиостанцию электроэнергией.

Основным и наиболее ответственным элементом передающей радиостанции является передатчик, представляющий собой радиотехнический аппарат, в котором электрическая энергия источников питания преобразуется в энергию переменных токов требуемой частоты и мощности. Но роль передатчика не ограничивается только созданием электрических колебаний высокой частоты. В передатчике колебания подвергаются воздействию, в результате которого осуществляется тот или иной вид радиопередачи, или, иначе говоря, здесь же производится еще и управление генерируемыми колебаниями.

Современный любительский передатчик представляет собой довольно сложное устройство, содержащее большое количество различных деталей, электронных ламп, колебательных контуров и приборов. Постройка и налаживание та-

кого передатчика являются делом нелегким, требующим определенных технических знаний, ясного понимания физических процессов, происходящих в передатчике, умения разбираться в схемах и, наконец, практического опыта.



Фиг. 1. Блок-схема коротковолнового передатчика.

ЗГ — задающий генератор; *Б* — разделительная или буферная ступень; *П* — промежуточные ступени; *ВС* — выходная ступень; *М* — модулятор или манипулятор.

Блок-схема современного коротковолнового передатчика изображена на фиг. 1.

В задающем генераторе происходит возбуждение колебаний. Буферная ступень служит для устранения влияния последующих ступеней на задающий генератор. В промежуточных ступенях происходит умножение частоты и предварительное усиление мощности и, наконец, в выходной ступени — усиление мощности генерируемых колебаний до требуемой величины.

Выбор схемы передатчика, ламп, конструктивное выполнение отдельных деталей и всего передатчика в целом определяются его назначением, мощностью, перекрываемым диапазоном частот и зависит от особенности линии связи и условий, в которых он работает.

Посмотрим, какие технические требования следует предъявлять к любительскому коротковолновому передатчику.

Любительские коротковолновые радиостанции подразделяются на три категории. Начинающие коротковолновики работают на радиостанциях III категории. Им разрешается иметь передатчик мощностью до 5 *вт* в антенне и работать только на 160-*м* любительском диапазоне. Более квалифицированные коротковолновики получают разрешение увеличить мощность до 20 *вт* (II категория) или до 100 *вт* в антенне (I категория) и работать на всех любительских диапазонах. Всем категориям радиостанций разрешается применение амплитудной манипуляции (телеграфная работа); работа телефоном разрешается лишь радиостанциям I категории.

Следовательно, в зависимости от категории радиостанции передатчик должен отдавать определенную мощность в антенну, допускать работу на разрешенных диапазонах и, наконец, обеспечить возможность осуществления того или иного вида передачи.

Специфика работы в любительских диапазонах выдвигает еще ряд дополнительных требований.

Так, большое переуплотнение любительских диапазонов заставляет коротковолновиков до максимума повышать избирательность своих приемников. В связи с этим приходится предъявлять очень жесткие требования к стабильности частоты излучаемых колебаний; чтобы не произошло нарушения связи, частота генерируемых передатчиком колебаний за время связи не должна изменяться более чем на 100—200 *гц*. Для радиостанций III категории это требование можно несколько облегчить, допустив уход частоты на 500—1 000 *гц*.

В целях облегчения вступления в связь и сокращения количества взаимных помех коротковолновики очень часто применяют так называемую одноканальную систему связи, при которой обе радиостанции работают на одной и той же частоте. Осуществить такую систему связи можно лишь в том случае, если передатчик допускает возможность быстрого перехода на любую частоту в пределах каждого любительского диапазона. Следовательно, передатчик должен иметь задающий генератор с плавной настройкой.

Наконец, необходимо стремиться, чтобы канал связи занимал как можно меньше места в диапазоне. Для этого нужно так наладить передатчик, чтобы он не имел паразитных излучений, имел хороший тон, «мягкое» ключевание, не создающее соседним радиостанциям помех в виде щелчков, хорошее качество телефонной передачи и ширину полосы пропускаемых частот не бо̀льшую, чем та, которая требуется для осуществления данного вида телефонной передачи, и т. д.

В конструктивном отношении передатчик должен быть выполнен так, чтобы он был удобен в настройке, эксплоатации и ремонте, допускал быстрый переход с одного диапазона на другой и легкую замену вышедших из строя ламп, имел электрическую блокировку, предохраняющую оператора от случайного попадания под высокое напряжение, обладал достаточной механической и электрической прочностью и, наконец, имел красивый внешний вид.

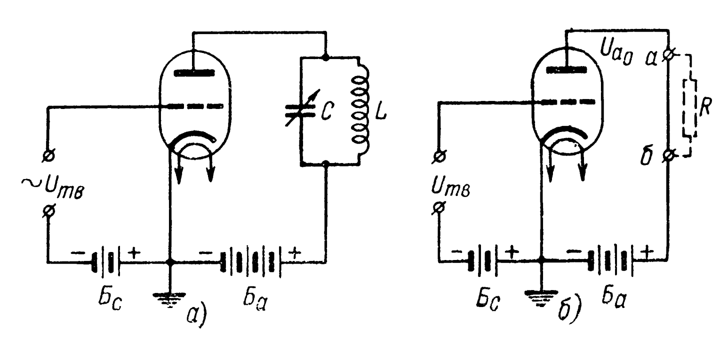
Вот те основные требования, которые предъявляются к современному любительскому коротковолновому передатчику.

ГЛАВА ПЕРВАЯ

ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ О РАБОТЕ ЛАМПОВОГО ГЕНЕРАТОРА

1. ГЕНЕРАТОР С НЕЗАВИСИМЫМ ВОЗБУЖДЕНИЕМ

Схема генератора с независимым возбуждением изображена на фиг. 2. В сеточную цепь лампы включены последовательно батарея $Б_c$, дающая постоянное напряжение смещения, и источник электрических колебаний высокой частоты, дающий переменное напряжение возбуждения $U_{mв}$.



Фиг. 2.

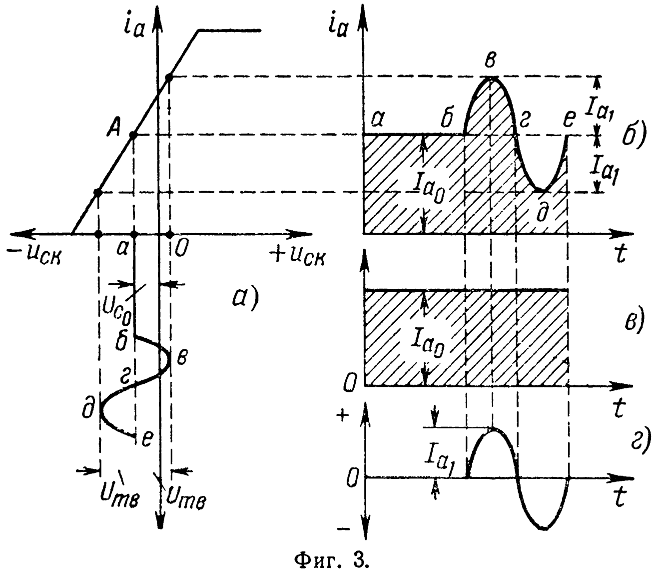
а — схема генератора с независимым возбуждением; *б* — схема генератора без нагрузки в анодной цепи.

В анодную цепь лампы в качестве нагрузки включен колебательный контур LC. Анодное напряжение подается от анодной батареи $Б_a$.

Рассмотрим процессы, происходящие в генераторе, начиная с простейшего случая, когда в анодной цепи нет ни колебательного контура, ни какой-либо другой нагрузки. Для этого закоротим колебательный контур перемычкой. Получим схему, изображенную на фиг. 2,*б*. Теперь в анод-

ной цепи лампы нет никакого сопротивления, на котором могло бы иметь место падение напряжения, и поэтому напряжение U_{a0} на ее аноде во время работы будет оставаться все время постоянным, равным напряжению источника тока $U_б$. Следовательно, при изменении напряжения на сетке мгновенные значения анодного тока i_a можно определять из статической характеристики лампы, снятой при напряжении на аноде, равном U_{a0}.

Статическая характеристика и график зависимости величины анодного тока от напряжения на управляющей сетке приведены на фиг. 3. Для упрощения характеристика



Фиг. 3.

а — статическая характеристика лампы; *б* — график зависимости анодного тока от напряжения на управляющей сетке лампы; *в* — постоянная составляющая анодного тока; *г* — переменная составляющая анодного тока.

лампы начерчена в виде отрезков прямой линии (фиг. 3,*а*). Из графика видно, что если напряжение возбуждения отсутствует, напряжение на сетке равно напряжению смещения U_{c0}, и ток в анодной цепи остается постоянным, равным I_{a0} (отрезок *аб* на фиг. 3,*б*). Ток I_{a0} называют током покоя.

С включением возбуждения напряжение на управляющей сетке лампы начинает изменяться, в результате чего

меняется и анодный ток, возрастая при положительной полуволне возбуждающего напряжения и убывая при отрицательной. Так как статическая характеристика прямолинейна, то изменение анодного тока происходит пропорционально изменению сеточного напряжения, и поэтому анодный ток становится пульсирующим. Такой ток является сложным и состоит из постоянного тока (постоянной составляющей) I_{a0} (фиг. 3,*в*) и переменного I_{a1} (переменной составляющей), который изменяется с частотой подводимого к сетке переменного напряжения (фиг. 3,*г*).

Из графиков, приведенных на фиг. 3, видно, что переменная составляющая анодного тока изменяется в фазе с переменным напряжением на сетке, т. е. в момент, когда напряжение на сетке достигает положительного амплитудного значения, одновременно положительного амплитудного значения достигает и переменная составляющая анодного тока.

Включим в анодную цепь лампы в качестве нагрузки активное сопротивление R (на фиг. 2,*б* показано пунктиром в разрыв между точками *а* и *б*). Теперь уже напряжение на аноде не будет оставаться постоянным и равным напряжению анодной батареи $U_б$, так как анодный ток i_a, проходя через сопротивление R, создаст на нем падение напряжения Δu, которое можно подсчитать по формуле

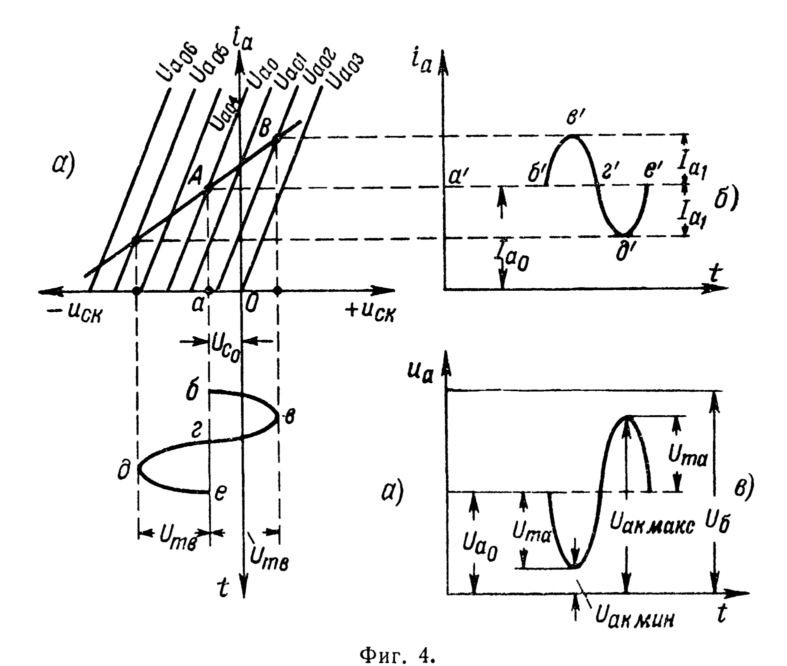
$$\Delta u = i_a R. \qquad (1)$$

Если мы захотим, чтобы и в этом случае в положении покоя напряжение на аноде лампы было, как прежде, равно U_{a0}, напряжение анодной батареи придется увеличить на величину ΔU, равную падению напряжения, создаваемого на сопротивлении R током покоя I_{a0}. Очевидно, что

$$\Delta U = I_{a0} \cdot R. \qquad (2)$$

Если сейчас подать на управляющую сетку лампы переменное напряжение, то анодный ток, как и в первом случае, при положительной полуволне возбуждающего напряжения будет увеличиваться, а при отрицательной — уменьшаться. Но теперь его изменения станут значительно меньшими, так как с изменением анодного тока начинает изменяться и напряжение на аноде лампы. Статическая характеристика, приведенная на фиг. 2,*а*, окажется уже непригодной для определения величины анод-

ного тока, так как, например, при максимальном положительном напряжении на управляющей сетке напряжение на аноде лампы окажется равным не U_{a0}, а некоторой другой величине U_{a02}, меньшей, чем U_{a0}. Следовательно, и ток для этого момента мы должны определить по статической характеристике, снятой при анодном напряжении, равном U_{a02}. Это будет соответствовать точке B на характеристике U_{a02} (фиг. 4,*а*). Соединив точки A и B прямой



Фиг. 4.

а — динамическая характеристика лампы; *б* — график изменения анодного тока; *в* — график изменения анодного напряжения.

линией, получим новую характеристику, по которой можно будет определять величину анодного тока в зависимости от напряжения на управляющей сетке при наличии в анодной цепи нагрузки в виде активного сопротивления. Такая характеристика называется **рабочей** или **динамической** характеристикой лампы. Чем больше величина сопротивления нагрузки R, тем более полого пойдет динамическая характеристика, а чем меньше, — тем более круто, приближаясь с уменьшением R к статической.

Пульсирующий анодный ток i_a, проходя через сопротивление R, создает на нем пульсирующее напряжение u_R, равное

$$u_R = i_a \cdot R. \tag{3}$$

Напряжение на аноде лампы $u_{ак} = U_б - i_a \cdot R$ также будет пульсирующим. Как и всякое пульсирующее напряжение, оно состоит из постоянной составляющей U_{a0} и переменной составляющей U_{ma}, изменяющейся с той же частотой, что и частота подводимых колебаний (фиг. 4,*в*).

В момент, когда анодный ток достигает наибольшего значения, падение напряжения на сопротивлении R также становится максимальным и, следовательно, напряжение на аноде лампы будет минимальным, равным $u_{ак\ мин}$, и наоборот, наименьшему значению анодного тока соответствует наибольшее значение напряжения на аноде лампы $u_{ак\ макс}$. Таким образом, анодный ток и напряжение на аноде находятся в противофазе, т. е. фаза переменного напряжения на аноде лампы сдвинута на 180° по отношению к фазе переменной составляющей анодного тока и переменной составляющей напряжения на сетке.

В ламповых генераторах в качестве нагрузки обычно включается не активное сопротивление, а колебательный контур, настроенный на частоту подводимых к управляющей сетке колебаний (фиг. 2,*а*). Для переменной составляющей анодного тока он представляет собой эквивалентное активное сопротивление $R_э$, величину которого можно определить по формуле

$$R_э = 1\,000\,000 \frac{L}{CR_к}, \tag{4}$$

где L — индуктивность катушки контура, *мкгн*;
C — его емкость, *мкмкф*;
$R_к$ — активное сопротивление контура, *ом*.

Переменная составляющая анодного тока I_{a1} при нагрузке в виде колебательного контура с резонансным сопротивлением $R_э$ создает на нагрузке переменное напряжение и, следовательно, процесс в этом случае будет протекать, как и при нагрузке в виде активного сопротивления R, а величина анодного тока i_a будет опреде-

ляться не статической, а динамической характеристикой лампы. Амплитуда напряжения на контуре будет равна

$$U_{ma} = I_{a1} \cdot R. \qquad (5)$$

Но по отношению к постоянной составляющей обе нагрузки ведут себя различно. Так как катушка контура для постоянного тока имеет очень малое сопротивление, то постоянная составляющая анодного тока не создает на ней заметного падения напряжения, и в состоянии покоя напряжение на аноде лампы будет равно напряжению анодной батареи.

Следовательно, источник анодного тока для этого случая должен иметь напряжение, равное U_{a0}.

При положительной полуволне переменного напряжения на управляющей сетке напряжение на контуре вычитается из напряжения батареи; напряжение на аноде лампы уменьшается и становится меньше, чем напряжение источника тока. При отрицательной полуволне оно прибавляется к напряжению батареи. Поэтому, при наличии колебательного контура в анодной цепи, во время отрицательной полуволны возбуждающего напряжения на управляющей сетке напряжение на аноде лампы становится больше, чем напряжение батареи.

Кроме того, следует отметить, что на анодном контуре выделяется не пульсирующее, а синусоидальное переменное напряжение. Фазовые соотношения между анодным током и напряжением здесь останутся такими же, как и в предыдущем случае, т. е. фаза переменного напряжения на аноде окажется сдвинутой на 180° по отношению к фазе переменных составляющих анодного тока и напряжения на управляющей сетке.

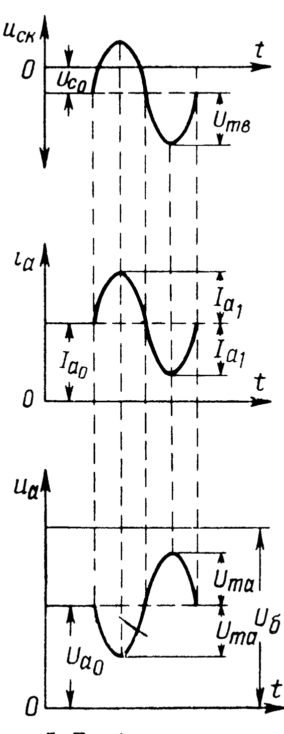
Графически зависимости между анодным током и напряжениями на аноде и управляющей сетке в ламповом генераторе показаны на фиг. 5.

Энергетические соотношения. Под действием переменных составляющих анодного тока и напряжения в колебательном контуре выделяется некоторая мощность:

$$P_1 = \frac{U_{ma}}{\sqrt{2}} \frac{I_{a1}}{\sqrt{2}} = \frac{U_{ma} I_{a1}}{2} \qquad (6)$$

($\sqrt{2}$ взят потому, что U_{ma} и I_{a1} выражают амплитудные значения).

Эта мощность называется колебательной и является полезной мощностью генератора. Но не вся мощность $P_0 = I_{a0} \cdot U_{a0}$, подводимая к анодной цепи лампы, выделяется в виде полезной мощности. Часть ее , а именно $P_a = P_0 - P_1$, поглощается в самой лампе. Она расходуется на бесполезный нагрев анода и носит название мощности, рассеиваемой на аноде. Очевидно, что мощность P_0, отдаваемая батареей, или, как ее еще называют, подводимая мощность, всегда больше колебательной мощности P_1. Отношение полезной мощности P_1 ко всей мощности P_0, потребляемой генератором от источника анодного тока, называется коэффициентом полезного действия генератора (к. п. д.) по анодной цепи и обозначается греческой буквой η (эта):



Фиг. 5. Графики зависимости между анодным током и напряжениями на аноде и управляющей сетке лампы.

$$\eta = \frac{P_1}{P_0} = \frac{1}{2} \cdot \frac{U_{ma}}{U_{a0}} \cdot \frac{I_{a1}}{I_{a0}}. \qquad (7)$$

Таким образом, коэффициент полезного действия генератора получается тем больше, чем больше U_{ma} и I_{a1}.

До сих пор мы рассматривали случаи, когда рабочая точка была выбрана в середине прямолинейной части характеристики лампы, а напряжение возбуждения было невелико. Поэтому форма анодного тока точно соответствовала форме напряжения, подводимого к управляющей сетке лампы. Такие колебания называются колебаниями первого рода. Практически эти колебания очень редко применяются в передатчиках. Объясняется это тем, что генератор, работающий в рассматриваемом режиме, имеет низкий к. п. д. В результате мощность, отдаваемая генератором, получается сравнительно небольшой. Бóльшая часть подводи-

мой мощности расходуется на бесполезный нагрев анода лампы, которая поэтому работает в крайне невыгодных условиях. Убедиться в этом можно, рассмотрев работу генератора в условиях предельного случая колебаний первого рода, когда отдаваемая им мощность и к. п. д. получаются максимальными.

Даже в самом предельном случае амплитуда переменной составляющей анодного тока I_{a1} не должна превосходить по своей величине I_{a0}, а напряжение на контуре U_{ma}— напряжения источника анодного тока U_{a0}, так как в противном случае получим искажение формы анодного тока. Поэтому даже в этом наивыгоднейшем случае к. п. д. генератора будет равным

$$\eta = \frac{1}{2}\frac{U_{ma}}{U_{a0}} \cdot \frac{I_{a1}}{I_{a0}} = \frac{1}{2} \cdot \frac{U_{a0}}{U_{a0}} \cdot \frac{I_{a0}}{I_{a0}} = 0{,}5, \qquad (8)$$

т. е. всего 50%. Во всех же остальных случаях к. п. д. будет еще ниже.

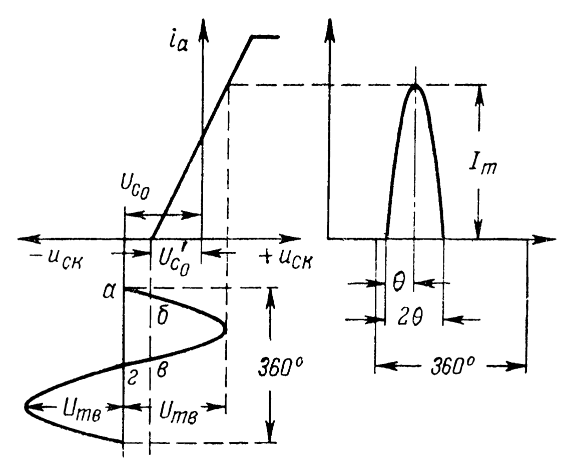
Колебания второго рода. В передатчиках применяется режим колебаний не первого, а второго рода, дающий значительно более высокий к. п. д.

Колебаниями второго рода называются такие колебания, у которых в течение той или иной части периода форма анодного тока не соответствует форме подводимого к управляющей сетке лампы переменного напряжения, т. е. при колебаниях второго рода происходит искажение формы подводимых колебаний. Остановимся более подробно на наиболее часто встречающемся в передатчиках случае колебаний второго рода — на остроконечном синусоидальном импульсе.

Анодный ток лампы приобретает форму остроконечных импульсов синусоидальной формы в том случае, если рабочая точка установлена не в середине прямолинейного участка характеристики, а значительно левее его или даже за началом характеристики.

На фиг. 6 графически показано образование такого импульса анодного тока. Из графика видно, что во время положительной полуволны возбуждающего напряжения, когда напряжение на управляющей сетке достигает величины U'_{c0} (точка *б*), лампа „открывается", и в ее анодной цепи появляется ток. Величина тока постепенно возрастает, и через четверть периода ток достигает максимального значения, равного I_m, после чего он начинает уменьшаться.

В тот момент, когда напряжение вновь достигнет величины U'_{c0} (точка *в*), лампа „запрется", и ток в цепи прекратится. Оставшуюся часть положительного полупериода (точки *в*, *г*), а также и в течение всего отрицательного полупериода ток в цепи отсутствует. В результате ток проходит через лампу лишь в течение некоторой части периода 2θ (θ — греческая буква „тэта") и, таким образом, превращается в отдельные импульсы остроконечной формы.



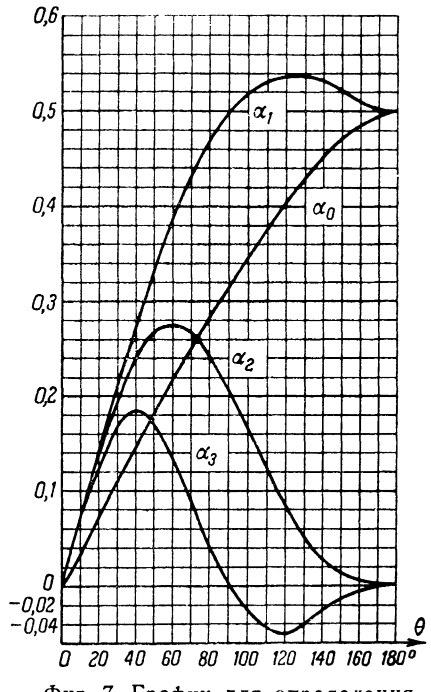
Фиг. 6. Образование остроконечного импульса анодного тока.

Каждый период напряжения на сетке сопровождается одним импульсом анодного тока.

Угол 2θ определяет, в течение какой части периода через лампу проходит ток. Если полный период колебаний на сетке разделить на 360°, то ширину основания импульса 2θ можно будет измерить в градусах. Половина основания импульса анодного тока θ, выраженная в градусах, называется **углом отсечки**.

Анодный ток, имеющий форму импульсов, является значительно более сложным, чем пульсирующий, и его можно разложить на постоянную составляющую и ряд переменных токов различных частот, а именно: ток той же частоты, что и подводимое к управляющей сетке лампы переменное напряжение возбуждения, т. е. ток первой гармоники I_{a1}, ток, частота которого в два раза выше,

чем частота подводимого напряжения, т. е. ток второй гармоники I_{a2}, ток третьей гармоники I_{a3} и токи более высоких частот (более высоких гармоник). Относительная величина амплитуды тока той или иной гармоники зависит от выбранного угла отсечки θ. Графически эта зависимость показана на фиг. 7. График дает возможность определить, какую часть величины импульса анодного тока I_m составляет амплитуда тока той или иной гармоники для различных углов отсечки. Здесь по вертикальной оси отложены коэффициенты разложения импульса для тока той или иной гармоники: $\alpha_0 = \frac{I_{a0}}{I_m}$; $\alpha_1 = \frac{I_{a1}}{I_m}$ и т. д., а по горизонтальной оси — углы отсечки θ.



Фиг. 7. График для определения угла отсечки.

Кривая α_0 дает коэффициент разложения для постоянной составляющей, α_1 — для тока первой гармоники, α_2 — для тока второй гармоники и т. д.

Найдя по графику величины интересующих нас коэффициентов разложения α для заданного угла отсечки θ и пользуясь приведенными ниже формулами, мы сможем определить амплитуды различных составляющих анодного тока. Так:

$$I_{a0} = \alpha_0 \cdot I_m;$$

$$I_{a1} = \alpha_1 \cdot I_m; \quad (9)$$

$$I_{a2} = \alpha_2 \cdot I_m \text{ и т. д.}$$

Например, определим I_{a0}; I_{a1} и I_{a2}, если максимальный импульс анодного тока $I_m = 2a$, а угол отсечки $\theta = 90°$. По графику находим:

$$\alpha_0 = 0{,}319; \quad \alpha_1 = 0{,}5; \quad \alpha_2 = 0{,}21,$$

откуда

$$I_{a0} = \alpha_0 \cdot I_m = 0{,}319 \cdot 2 = 0{,}638a;$$

$$I_{a1} = \alpha_1 \cdot I_m = 0{,}5 \cdot 2 = 1a;$$

$$I_{a2} = \alpha_2 \cdot I_m = 0{,}21 \cdot 2 = 0{,}42a.$$

Из графика видно, что при угле отсечки $\theta = 180°$ (граница перехода от колебаний первого рода к колебаниям второго рода) первая гармоника I_{a1} и постоянная составляющая I_{a0} равны половине максимального импульса ($I_{a0} = I_{a1} = 0{,}5 I_m$), а их отношение $\frac{I_{a1}}{I_{a0}} = 1$. С уменьшением угла отсечки коэффициент для тока первой гармоники возрастает и достигает максимального значения при угле отсечки $\theta = 120°$ ($\alpha_1 = 0{,}54$), а коэффициент для постоянной составляющей постепенно уменьшается (при $\theta = 120°$, $\alpha_0 = 0{,}41$). Таким образом, ток первой гармоники при $\theta = 120°$ становится уже заметно больше, чем постоянная составляющая и их отношение $\frac{I_{a1}}{I_{a0}}$ равно 1,3. Это значит, что с уменьшением угла отсечки θ возрастает полезная и уменьшается подводимая мощность, т. е. растет к. п. д. генератора.

При $\theta = 90°$ отношение $I_{a1}/I_{a0} = 1{,}56$. Следовательно, при этом угле отсечки еще более облегчится тепловой режим лампы и повысится к. п. д. генератора.

Наибольшая интенсивность второй гармоники получается при $\theta = 60°$, третьей — при $\theta = 40°$. Для любой гармоники наивыгоднейший угол отсечки определяется по формуле

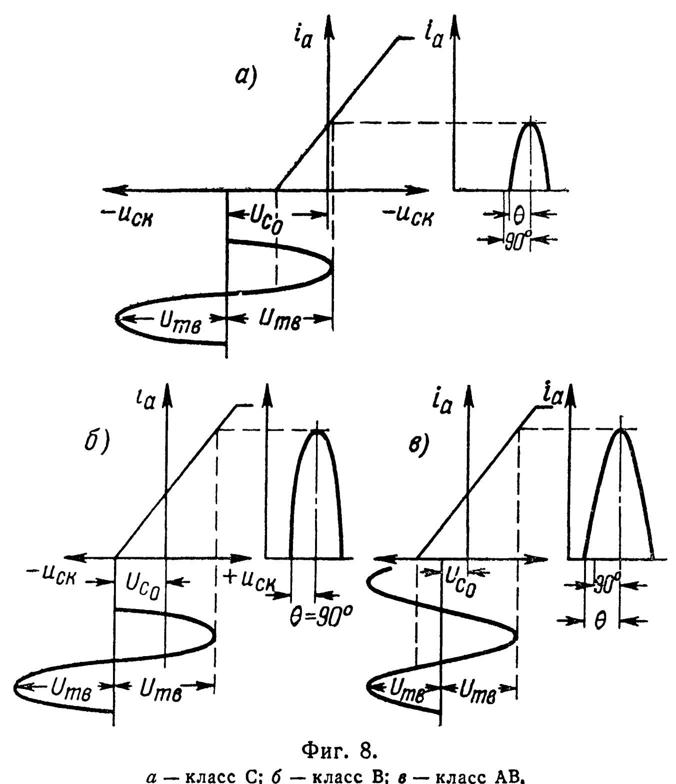
$$\theta = \frac{120}{n}, \tag{10}$$

где n — номер соответствующей гармоники.

Классы работы АВ, В и С. Величина угла отсечки зависит от выбранных напряжений смещения и возбуждения.

Чем больше отрицательное напряжение смещения, тем меньше получается угол отсечки θ.

Если отрицательное смещение установить большим и, таким образом, сместить рабочую точку влево от начала характеристики лампы (фиг. 8,*а*), то ток будет проходить через лампу меньше, чем в течение половины периода, и угол отсечки получится меньше чем 90° ($\theta < 90°$). Такой класс работы называется к л а с с о м C. Если при работе



Фиг. 8.
а — класс C; *б* — класс B; *в* — класс AB.

генератора в классе C изменять величину возбуждающего напряжения $U_{mв}$, то с уменьшением $U_{mв}$ угол отсечки θ будет уменьшаться, а с увеличением—расти. Но сколько ни увеличивать $U_{mв}$,—угол отсечки всегда будет оставаться меньшим чем 90°.

При выборе рабочей точки в начале характеристики (фиг. 8,*б*) генератор будет работать в к л а с с е B. Класс B характеризуется тем, что угол отсечки в нем равен 90°

($\theta=90^\circ$) и совершенно не зависит от величины возбуждающего напряжения. В классе В ток проходит через лампу в течение половины периода.

Наконец, если рабочую точку сместить вправо от начала характеристики (фиг. 8,*в*), генератор будет работать в классе АВ. В классе АВ угол отсечки θ всегда получается бо́льшим, чем 90° ($\theta > 90^\circ$) и с увеличением возбуждающего напряжения уменьшается, а с уменьшением — увеличивается. Ток в этом случае проходит через лампу дольше, чем в течение половины периода.

Таким образом, чтобы получить определенной величины импульс анодного тока I_m и заданный угол отсечки θ, необходимо подобрать величину отрицательного смещения U_{c0} и возбуждающего напряжения $U_{mв}$.

Напряжение на контуре. Итак, при работе генератора в режиме колебаний второго рода анодный ток лампы представляет собой ряд импульсов и содержит в себе постоянную составляющую, ток основной частоты и токи высших гармоник. Но так как в анодной цепи генератора включен колебательный контур, настроенный на частоту первой гармоники анодного тока, то на контуре создается переменное напряжение U_{ma} только основной частоты f_1. Для других частот контур представляет собой малое сопротивление, поэтому токи других гармоник, проходя через него, практически не создают на нем заметного напряжения и, таким образом, в анодном контуре выделяется энергия колебаний только основной частоты.

Отношение напряжения на контуре к напряжению источника анодного тока носит название коэффициента использования анодного няпряжения и обозначается греческой буквой ξ (кси). Коэффициент использования анодного напряжения показывает, какую часть напряжения источника анодного тока составляет напряжение на контуре:

$$\xi=\frac{U_{ma}}{U_{a0}}. \qquad (11)$$

Если анодный контур настроить не на основную частоту, а на частоту вдвое бо́льшую, чем частота подводимого напряжения $f_2=2f_1$, т. е. на вторую гармонику, то для этой частоты контур будет представлять большое сопротивление, в то время как для всех других частот,

в том числе и для тока первой гармоники, его сопротивление, будет мало. Поэтому только ток второй гармоники I_{a2}, проходя через контур, создаст на нем переменное напряжение с частотой $2f_1$.

Таким образом, в этом случае в генераторе получается удвоение частоты. Если настроить контур на третью гармонику, то получим утроение, и т. д.

Ток и напряжение той частоты, на которую настроен колебательный контур, выделяют на нем колебательную мощность.

Режимы работы. Величина переменного напряжения на контуре оказывает большое влияние на режим работы лампового генератора, а следовательно, на величину отдаваемой им мощности и к. п. д.

При отрицательной полуволне возбуждающего напряжения напряжение на контуре складывается с напряжением анодной батареи, причем, когда $U_{mв}$ достигает отрицательного амплитудного значения, напряжение на аноде лампы становится максимальным и равно сумме напряжений источника анодного тока и напряжения на контуре:

$$u_{ак\ макс} = U_{a0} + U_{ma}. \qquad (12)$$

Максимальное напряжение на аноде лампы $u_{ак\ макс}$ может в отдельных случаях более чем вдвое превышать напряжение источника анодного тока. Это обстоятельство приходится учитывать при выборе деталей генератора.

При положительной полуволне возбуждающего напряжения напряжение на контуре вычитается из напряжения источника анодного тока. Когда напряжение на сетке достигнет максимального положительного значения $u_{ск\ макс}$, максимального значения должен достигнуть и анодный ток лампы. Но в то же время напряжение на аноде лампы становится минимальным, равным разности напряжений источника анодного тока и напряжения на контуре:

$$u_{ак\ мин} = U_{a0} - U_{ma}. \qquad (13)$$

Это препятствует возрастанию анодного тока и, тем самым, уменьшает величину максимального импульса. С возрастанием напряжения на контуре $u_{ак\ мин}$ уменьшается, и если напряжение на контуре станет бо́льшим, чем напряжение источника тока, то напряжение на аноде лампы

в некоторый момент времени окажется даже отрицательным, и анодный ток временно совсем прекратится. С уменьшением импульса будет уменьшаться и ток первой гармоники I_{a1}.

Таким образом, если напряжение на контуре окажется слишком большим, то это приведет к резкому уменьшению тока первой гармоники. Но мощность, выделяемая в контуре $P_1 = {}^1/_2 U_{ma} \cdot I_{a1}$, пропорциональна и напряжению на контуре, и первой гармонике анодного тока. Следовательно, можно подобрать такое напряжение на контуре, что наступит некоторый оптимальный режим, при котором мощность генератора окажется максимальной.

От величины переменного напряжения на контуре сильно зависит и величина сеточного тока лампы.

Сеточный ток появляется лишь при положительном напряжении на сетке и достигает максимального значения $I_{с\ макс}$, когда оно становится равным $u_{ск\ макс}$ (фиг. 5). Напряжение на аноде лампы в этот момент оказывается минимальным. С увеличением напряжения на контуре величина минимального остаточного напряжения на аноде $u_{ак\ мин}$ уменьшается, и при больших U_{ma} напряжение на сетке $u_{ск\ макс}$ становится соизмеримым с напряжением на аноде, а в отдельных случаях может даже превысить его. В результате происходит перераспределение электронного потока в лампе. Все больше и больше электронов ответвляется в цепь управляющей сетки, что приводит к возрастанию сеточного тока. Особенно резко сеточный ток возрастает, когда максимальное положительное напряжение на сетке начинает превышать минимальное остаточное напряжение на аноде.

В зависимости от соотношения между минимальным напряжением на аноде и максимальным напряжением на управляющей сетке различают три режима работы лампового генератора: недонапряженный, критический и перенапряженный.

Недонапряженный режим устанавливается в том случае, когда колебательное напряжение на анодном контуре невелико и его амплитуда не превышает 85% от напряжения источника анодного тока ($\xi < 0{,}85$). При этом $u_{ак\ мин}$ оказывается заметно больше, чем $u_{ск\ макс}$. Недонапряженный режим возникает при малом резонансном сопротивлении

контура $R_э$ или недостаточной величине возбуждающего напряжения. Он характеризуется низким к. п. д. и сравнительно небольшой колебательной мощностью. Вследствие низкого к. п. д. большая часть мощности рассеивается на аноде лампы, которая поэтому работает в очень тяжелых условиях. Попытка получить от лампы в сильно недонапряженном режиме нормальную мощность приведет к сильному перегреву анода, что может оказаться опасным для лампы.

В недонапряженном режиме изменение величины возбуждающего напряжения $U_{mв}$ или напряжения смещения U_{c0} вызывает пропорциональное изменение величины импульса анодного тока. Это свойство часто используется для управления колебаниями, например при модуляции.

К сильному изменению отдаваемой мощности приводит также и изменение резонансного сопротивления контура $R_э$. При изменении анодного напряжения U_{a0} отдаваемая колебательная мощность в этом режиме почти не изменяется.

Сеточный ток в рассматриваемом режиме невелик и не превышает 4—5% от анодного тока.

По мере увеличения колебательного напряжения на контуре, например при повышении $R_э$ контура (улучшение качества контура), повышается и степень напряженности режима. При этом улучшается к. п. д. генератора, увеличивается колебательная мощность и облегчается тепловой режим лампы. Котда амплитуда переменного напряжения на контуре достигнет величины, равной 85—90% напряжения источника тока ($\xi = 0{,}85—0{,}9$), остаточное напряжение на аноде $u_{ак\ мин}$ окажется примерно равным максимальному положительному напряжению на управляющей сетке. Такой режим работы генератора называется критическим.

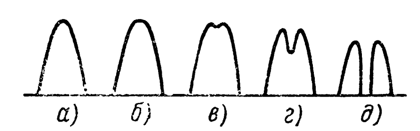
Критический режим характеризуется тем, что мощность, отдаваемая генератором, приближается к максимальной мощности, которую может отдать лампа при выбранном угле отсечки θ и напряжении источника анодного тока U_{a0}. К. п. д. в этом режиме получается уже достаточно высоким, в результате чего рассеиваемая мощность на аноде обычно не превышает допустимой величины.

Сеточный ток в критическом режиме (по сравнению с режимом недонапряженным) заметно возрастает и со-

ставляет 10—15% от анодного при использовании генераторных триодов и 5—8%—при пентодах или экранированных лампах. Форма импульса анодного тока получается уже не остроконечной, как в недонапряженном режиме, а со слегка приплюснутой вершиной.

Перенапряженный режим устанавливается, когда переменное напряжение на контуре велико и превышает 90% напряжения источника анодного тока U_{a0}. В этом случае $u_{ак\ мин}$ становится меньше, чем максимальное положительное напряжение на управляющей сетке $u_{ск\ макс}$. Такое соотношение напряжений приводит к резкому возрастанию сеточного тока и заметному уменьшению импульса анодного тока. Сеточный ток в перенапряженном режиме превышает 10—15% анодного тока.

В то время, когда положительное напряжение на управляющей сетке лампы приближается к своему максимальному значению, все бо́льшая часть электронов начинает оседать на ней, и анодный ток не только перестает возрастать, но начинает даже уменьшаться. В результате импульс анодного тока получается приплюснутым или даже с провалом в середине, приобретая двугорбый вид. Глубина провала зависит от степени перенапряженности режима. При сильно перенапряженном режиме впадина становится настолько глубокой, что импульс тока разделяется на две отдельные части. На фиг. 9 показаны формы импульсов анодного тока при различных режимах работы лампового генератора.



Фиг. 9. Формы импульсов анодного тока.

а — при недонапряженном режиме; *б* — критическом; *в* слегка перенапряженном; *г* и *д* — сильно перенапряженном.

Таким образом, перенапряженный режим характеризуется большим переменным напряжением на колебательном контуре, сильным искажением формы импульса анодного тока и резким возрастанием тока сетки.

В слегка перенапряженном режиме от лампы можно получить мощность того же порядка или даже несколько бо́льшую, чем в критическом режиме. Это происходит за счет увеличения напряжения на контуре. Однако в сильно перенапряженном режиме мощность заметно уменьшается, так как большая впадина в импульсе анодного тока значи-

тельно уменьшает величину тока первой гармоники I_{a1}. К. п. д. генератора в перенапряженном режиме получается достаточно высоким.

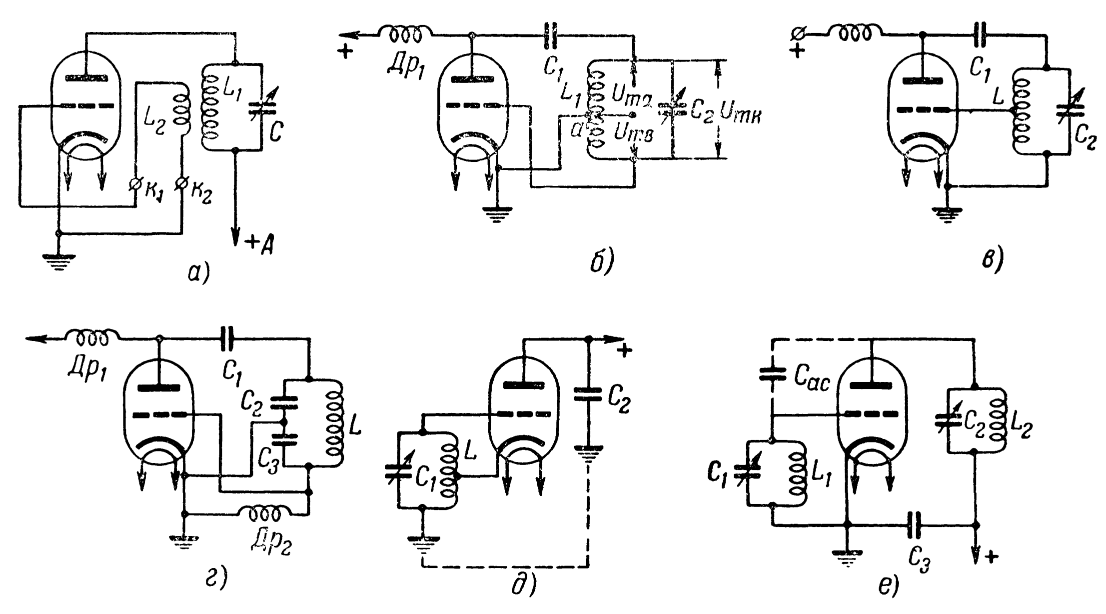
Следует отметить, что в этом режиме даже значительные изменения $U_{mв}$, U_{c0} или $R_э$ не вызывают заметного изменения U_{ma}, а следовательно, и колебательной мощности генератора. Но зато изменение напряжения источника анодного тока U_{a0} сильно меняет колебательную мощность, так как при этом резко меняется степень перенапряженности режима.

2. ГЕНЕРАТОРЫ С САМОВОЗБУЖДЕНИЕМ

Для того чтобы в анодном контуре генератора с независимым возбуждением существовали колебания высокой частоты, к управляющей сетке лампы подводится возбуждающее напряжение $U_{mв}$ от постороннего источника э. д. с. высокой частоты. Для работы такого генератора не имеет значения, от какого источника берется возбуждающее напряжение; важно только, чтобы оно существовало и было достаточной величины. Так как мощность, которая расходуется в цепи сетки, невелика и во много раз меньше колебательной мощности, выделяемой в анодном контуре, то очевидно, для возбуждения генератора можно использовать часть мощности, выделяемой в его анодном контуре.

На фиг. 10,*а* представлена схема такого генератора. При работе генератора на его анодном контуре установится некоторое напряжение U_{ma}. Если поместить теперь возле катушки анодного контура L_1 катушку обратной связи L_2, то в последней будет наводиться некоторая э. д. с. Подбирая расстояние между катушками или число витков катушки L_2, можно добиться такого положения, что напряжение на зажимах катушки L_2 (K_1 и K_2) станет равным напряжению, требуемому для возбуждения генератора. В результате вместо возбуждающего напряжения постороннего источника тока на управляющую сетку лампы будет подаваться напряжение, возникшее на катушке обратной связи L_2, и лампа будет генерировать колебания. Таким образом, получим самовозбуждение генератора.

Но для того чтобы колебания поддерживались и не затухали, необходимо выполнить условие фазовых соотношений, т. е. катушку обратной связи L_2 надо включить так, чтобы напряжения на аноде и на управляющей сетке лампы были



Фиг. 10. Схемы генераторов с самовозбуждением.

сдвинуты по фазе на 180°. Требуемый сдвиг фаз можно получить, меняя местами концы катушки обратной связи или поворачивая ее на 180°.

Рассматривая работу приведенной выше схемы, мы с самого начала предполагали, что колебания в контуре уже существовали. Однако в практических случаях, когда генератор с самовозбуждением выключен, в его контуре никаких колебаний, конечно, не существует. Они возникают лишь после включения генератора, и происходит это следующим образом. В момент включения высокого напряжения в анодной цепи лампы пойдет ток. Под действием толчка тока (или вследствие неравномерности электронного потока в лампе) в контуре L_1C возникнут затухающие электрические колебания высокой частоты. Но возникшие колебания тотчас же наводят в катушке обратной связи L_2 переменную э. д. с. той же частоты, что и частота колебаний в контуре, и эта э. д. с. оказывается приложенной к управляющей сетке лампы генератора. В результате анодный ток лампы также будет изменяться с частотой колебаний в контуре.

Таким образом, благодаря работе электронной лампы теряемая в контуре энергия будет пополняться за счет расхода энергии источников питания, и в контуре возникнут незатухающие колебания высокой частоты.

Частота генерируемых колебаний f_0 определяется параметрами контура и может быть подсчитана по формуле

$$f_0 = \frac{159}{\sqrt{LC}}, \qquad (14)$$

где L — индуктивность контура, *мкгн*;

C — емкость конденсатора контура, *мкмкф*.

Мы рассматривали работу лампового генератора с самовозбуждением, собранного по схеме с индуктивной обратной связью. Существуют и другие схемы самовозбуждающихся генераторов. Отличаются они друг от друга лишь способом подачи напряжения обратной связи. Принцип же работы всех схем один и тот же.

Схемы генераторов с самовозбуждением, применяемых в радиолюбительской практике, можно разделить на три основные группы: генераторы с индуктивной обратной связью, трехточечные схемы и схемы с настроенными контурами в цепи анода и сетки.

Работу генератора с индуктивной обратной связью мы уже рассмотрели.

В трехточечных схемах контур подключается к лампе тремя точками.

На фиг. 10,*б* изображена трехточечная схема с автотрансформаторной или кондуктивной связью. В этой схеме напряжение, возникающее на контуре $U_{mк}$, делится на две неравные части. Напряжение, снимаемое с верхней части контура U_{ma}, подается на анод лампы, с нижней части — $U_{mв}$ — на управляющую сетку. Таким образом, возбуждающее напряжение на управляющую сетку в этой схеме снимается непосредственно с анодного контура генератора.

Подключение к контуру цепей анода и управляющей сетки лампы с разных сторон от точки присоединения катода необходимо для выполнения фазовых условий. При таком включении контура автоматически обеспечивается требуемый сдвиг фаз между напряжением на управляющей сетке и на аноде лампы, равный 180°. Если включить контур так, как показано на фиг. 10,*в*, то фазы напряжений на аноде и управляющей сетке будут совпадать, т. е. не будут выполняться фазовые условия, и генератор не будет генерировать колебаний.

На фиг. 10,*г* приведена трехточечная схема с емкостной обратной связью. Эта схема отличается от приведенной на фиг. 10,б лишь тем, что в ней в качестве делителя напряжения используется не индуктивность, а емкость контура. Дроссель $Др_2$ в цепи сетки включен, чтобы создать путь для сеточных токов. Необходимый сдвиг фаз обеспечивается, как и в предыдущей схеме, соответствующим включением анодного контура.

Разновидностью трехточечной схемы является схема с катодной связью или, как ее еще называют, схема с заземленным анодом (фиг. 10,*д*). По сути дела она является такой же трехточечной схемой; различие заключается лишь в том, что здесь вместо катода под нулевым потенциалом высокой частоты находится анод лампы, а катод по отношению к земле оказывается под потенциалом высокой частоты. Но, как и раньше, контур в схеме остается подключенным тремя точками — к сетке, аноду (пунктирная линия) и катоду, причем точка включения катода находится между точками включения цепей анода и сетки.

На фиг. 10,*е* приведена схема генератора с самовозбуждением с двумя настроенными контурами. Обратная связь здесь осуществляется через внутриламповую емкость между анодом и управляющей сеткой C_{ac}. Через эту емкость анод-

ный и сеточный контур оказываются связанными между собой, и ток высокой частоты, проходя через емкость C_{ac}, создает на сеточном контуре переменное напряжение, которое оказывается приложенным к управляющей сетке лампы. При определенном соотношении настроек контуров напряжение на управляющей сетке получает нужную величину и фазу, и генератор самовозбуждается.

Эту схему называют «настроенный анод — настроенная сетка».

ГЛАВА ВТОРАЯ

ВЫХОДНАЯ СТУПЕНЬ

1. ВЫБОР ЛАМП И РЕЖИМА РАБОТЫ

В выходной ступени передатчика производится усиление мощности генерируемых колебаний до величины, предусмотренной техническими условиями. Здесь же часто осуществляется и управление колебаниями высокой частоты, например модуляция.

Обычно техническими условиями задается колебательная мощность, которую необходимо получить от ступени. Конструктору же при проектировании приходится самостоятельно решать все остальные вопросы, а именно: подобрать тип и определить количество ламп, выбрать наивыгоднейший режим работы, определить напряжения и мощность источников питания, параметры контура, величину напряжения смещения, возбуждения и мощность колебаний высокой частоты, потребляемую сеточной цепью лампы выходной ступени. Последнее определяет мощность, которую должна иметь ступень, возбуждающая данный генератор.

Выбор типа ламп. Выбор типа ламп для выходной ступени является очень ответственным этапом проектирования, так как определяет схему и основные данные передатчика, а также и данные питающего устройства.

Практически в передатчике может быть применена лампа любого типа — триод, тетрод или пентод, способная отдать заданную колебательную мощность. Трехэлектродные лампы в маломощных коротковолновых передатчиках в настоящее время почти совершенно не применяются, так как они обладают рядом существенных недостатков. К ним

прежде всего относится большая междуэлектродная емкость между анодом и управляющей сеткой, часто являющаяся причиной паразитного самовозбуждения ступени и вредного просачивания энергии из одной ступени в другую. Последнее вызывает ухудшение качества модуляции и появление «негатива». Кроме того, триод дает малое усиление по мощности, вследствие чего возбуждающую ступень приходится делать сравнительно большой мощности, а это усложняет конструкцию передатчика.

Значительно меньшими недостатками обладают пентоды и тетроды. У этих ламп емкость анод — управляющая сетка во много раз меньше, чем у триодов, и поэтому ступени, собранные на них, работают более устойчиво и не требуют применения специальных мер для устранения паразитного самовозбуждения.

Вторым существенным преимуществом тетродов и пентодов является то, что они обладают значительно бóльшим, чем триоды, коэффициентом усиления по мощности. Если коэффициент усиления по мощности триода составляет 10—15, то у тетродов он равен 30—40, а у пентодов доходит до 100. Это дает возможность значительно снизить мощность предоконечной ступени, упростить конструкцию передатчика и повысить его эксплоатационный к. п. д. Наконец, пентоды имеют еще и то преимущество, что для работы телефоном позволяют применить несложную схему модуляции на защитную сетку, при которой модулирующее устройство может быть очень простым.

Все это показывает, что наилучшим типом ламп для маломощных коротковолновых передатчиков являются генераторные пентоды.

Выбор того или иного типа лампы практически осуществляется путем предварительного упрощенного расчета, с помощью которого определяется, какая из имеющихся ламп способна обеспечить заданную колебательную мощность.

Ориентировочно величину максимальной колебательной мощности, которую может отдать одна лампа, можно подсчитать по следующей формуле:

$$P_{1\,макс} = 0{,}2U_{a0} \cdot I_s, \qquad (15)$$

где U_{a0} — величина анодного напряжения;

I_s — ток насыщения лампы.

Для ламп с оксидным катодом, к числу которых относится и подавляющее большинство маломощных генераторных ламп, не имеющих ярко выраженного тока насыщения, в таблицах обычно приводится не I_s, а ток эмиссии катода I_e. Этот ток не является предельным для лампы, а лишь определяется условиями, в которых производились ее испытания. В соответствии с этим в паспорте лампы указывается максимальная колебательная мощность $P_{ном}$, которую она может отдать при рекомендованном заводом анодном напряжении в течение гарантированного им срока службы. Эта мощность носит название номинальной мощности. Очевидно, что номинальная мощность является далеко не предельной и в некоторых случаях может быть значительно превышена. Так, например, при работе лампы в импульсном режиме снимаемая с нее в импульсе мощность может в несколько раз превышать номинальную. Однако при обычных условиях работы форсирование лампы приводит к резкому сокращению срока ее службы. Так же боятся форсированного режима и лампы с карбидированным катодом. Поэтому при выборе типа лампы к любительскому передатчику приходится в основном ориентироваться не на максимальную, а на номинальную мощность, указанную в паспорте. Если номинальная мощность не указана в паспорте, то ее ориентировочно можно определить, подставив в приведенной выше формуле вместо тока насыщения I_s ток эмиссии катода I_e.

Если мощность, отдаваемая одной лампой, окажется недостаточной, то для ее увеличения используются две лампы, включенные параллельно или по двухтактной схеме. При параллельном включении двух ламп отдаваемая генератором мощность возрастает не в два раза, а значительно меньше. Так, для волн 160- и 40-*м* любительских диапазонов при параллельном включении ламп отдаваемая мощность возрастает примерно на 70—80%, а для волн 10—20-*м* диапазонов — на 40—60%.

Таким образом,

$$P_{2\ ламп} = (1,4 - 1,8)\ P_{1\ лампы}. \qquad (16)$$

Для двухтактных схем коэффициент в приведенной формуле можно принимать равным 1,7—1,8. Если же и при использовании двух ламп выходная мощность ступени не будет соответствовать требуемой, придется применить более мощную лампу.

Кроме определения пригодности лампы по величине отдаваемой колебательной мощности, необходимо проверить еще, не превысит ли при этом мощность, которая рассеивается на ее аноде, допустимой величины $P_{a\ доп}$. Ориентировочно рассеиваемая на аноде мощность может быть определена по формуле

$$P_a = 0{,}45P_1. \qquad (17)$$

Если подсчитанная по этой формуле мощность не превышает допустимую мощность рассеивания на аноде $P_{a\ доп}$, то выбранная лампа может быть использована в передатчике, а если превышает, — необходимо применить более мощную лампу, допускающую бóльшую $P_{a\ макс}$.

При выборе лампы следует иметь в виду, что не вся отдаваемая ею колебательная мощность поступает в антенну, часть ее теряется в колебательном контуре. Поэтому, определяя мощность, которую должна отдать лампа, необходимо учитывать коэффициент полезного действия анодного контура $\eta_к$, величина которого для выходной ступени любительского передатчика лежит в пределах от 60 до 80%. Таким образом, отдаваемая лампой колебательная мощность должна быть равной

$$P_1 = \frac{P_A}{\eta_к},$$

где P_A — разрешенная мощность в антенне.

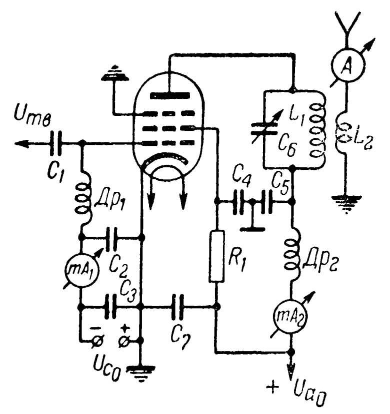
Схема Рассмотрим принципиальную схему выходной ступени, собранной на пентоде (фиг. 11). К управляющей сетке лампы подводятся два напряжения: напряжение возбуждения $U_{mв}$, поступающее от предыдущей ступени, и постоянное напряжение смещения U_{c0}, которое может быть получено от отдельной батареи, аккумулятора, выпрямителя и т. д. В цепь управляющей сетки включен дроссель $Др_1$, создающий путь для постоянной составляющей сеточного тока I_{c0}, и миллиамперметр mA_1, показывающий его величину. Для предохранения прибора и источников питания цепей смещения от проникновения в них токов высокой частоты прибор и батарея U_{c0} блокируются конденсаторами C_2 и C_3.

В анодную цепь лампы включен колебательный контур L_1C_6, настроенный в резонанс с частотой возбуждаю-

щего напряжения и индуктивно связанный с антенной. Дроссель $Др_2$ и конденсатор C_7 предохраняют источники питания от проникновения в них токов высокой частоты из анодной цепи. Конденсатор C_5 образует путь для переменной составляющей анодного тока к катоду лампы.

Миллиамперметр mA_2 служит для определения величины постоянной составляющей анодного тока I_{a0}. Сравнивая показания анодного и сеточного приборов, можно судить о режиме работы ступени.

Напряжение на экранную сетку подается через сопротивление R_1, а через конденсатор C_4 экранная сетка для создания на ней нулевого потенциала высокой частоты соединяется с землей. Защитная сетка соединена с шасси. У некоторых ламп на защитную сетку подается положительный потенциал в 15—40 *в*. В этом случае эта сетка соединяется с шасси через конденсатор.



Фиг. 11. Принципиальная схема выходной ступени.

Выбор угла отсечки и режима работы. Как известно, процентное содержание тока той или иной гармоники в импульсе анодного тока лампы всецело зависит от выбранного угла отсечки θ. Из графика фиг. 7 видно, что полезная для нас первая гармоника анодного тока I_{a1} достигает наибольшего значения при импульсе с углом отсечки $\theta = 120°$ и составляет 54% от I_m ($\alpha_1 = 0{,}54$). Однако постоянная составляющая I_{a0} при таком угле отсечки остается еще сравнительно большой ($\alpha_0 = 0{,}42$), в результате чего коэффициент полезного действия генератора оказывается недостаточно высоким.

Если уменьшать угол отсечки θ, то начнет уменьшаться интенсивность тока как первой гармоники, так и постоянной составляющей, причем доля постоянной составляющей, будет уменьшаться значительно быстрее, чем составляющей тока первой гармоники. Так, при угле

отсечки $\theta = 90°$ ток первой гармоники оказывается немногим меньше, чем при $\theta = 120°$ и составляет 50% от I_m, в то время как постоянная составляющая оказывается уже значительно ослабленной и составляет всего 31,9% от I_m вместо 42% при $\theta = 120°$.

Поэтому, чтобы уменьшить постоянную составляющую и улучшить к. п. д. генератора, в выходных ступенях устанавливают угол отсечки, меньший чем 120°, и выбирают его в пределах от 65 до 100° (чаще всего $\theta = 70 - 90°$).

Дальнейшее уменьшение θ приводит к заметному уменьшению тока первой гармоники, а следовательно, и отдаваемой колебательной мощности.

Режим работы выходной ступени при телеграфной передаче следует устанавливать критический или слегка перенапряженный, так как в этих случаях генератор отдает максимальную колебательную мощность и имеет наиболее высокий к. п. д.

2. РАСЧЕТ ТЕЛЕГРАФНОГО РЕЖИМА ВЫХОДНОЙ СТУПЕНИ

При проектировании выходной ступени обычно приходится производить расчет генератора либо на максимальную колебательную мощность, которую можно получить от выбранной лампы, либо на мощность, величина которой задана техническими условиями. Приводим оба варианта расчета.

Анодная цепь. Расчет на максимальную мощность. В этом случае заданными величинами являются:

U_{a0} — анодное напряжение;

I_s — ток насыщения лампы;

$U_{c_2 0}$ — напряжение на экранной сетке;

$U_{c_3 0}$ — напряжение на пентодной сетке;

U'_{c_0} — напряжение на сетке, при котором спрямленная анодная характеристика для выбранного анодного (и экранного — для тетродов и пентодов) напряжения пересекает горизонтальную ось графика (фиг. 12). U'_{c0} обычно приводится в данных к лампе или находится непосредственно из характеристики;

$P_{a\,доп}$ — допустимая величина мощности рассеивания на аноде;

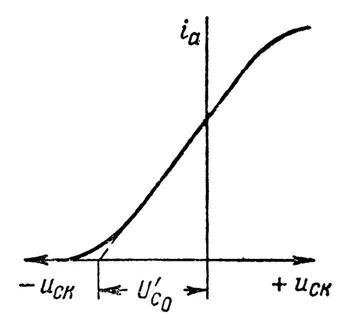
S — крутизна линейного участка характеристики лампы;

$D = \frac{1}{\mu}$ — проницаемость;

μ — коэффициент усиления лампы.

Расчет начинаем с определения величины максимального импульса анодного тока. Учитывая токи всех сеток лампы, принимаем, что максимальный импульс

$$\begin{aligned} I_m &= 0{,}85 - 0{,}9 I_s \text{ — для триодов;} \\ I_m &= 0{,}75 - 0{,}8 I_s \text{ — для тетродов и пентодов.} \end{aligned} \qquad (18)$$



Фиг. 12. График для определения U'_{c0}.

С целью получения достаточно высокого к. п. д. установим угол отсечки анодного тока $\theta = 75°$. Для такого угла отсечки величина тока первой гармоники составляет

$$I_{a1} = 0{,}455 I_m \qquad (19)$$

и постоянной составляющей

$$I_{a0} = 0{,}27 I_m. \qquad (20)$$

Режим работы выбираем критическим. В этом режиме коэффициент использования анодного напряжения равен 0,85 для триодов и 0,9 — 0,95 — для тетродов и пентодов. Исходя из этого, определяем амплитуду переменного напряжения на аноде лампы:

$$U_{ma} = (0{,}85 - 0{,}95)\, U_{a0}. \qquad (21)$$

Коэффициент 0,85 берется в случае применения триода. Для пентодов и тетродов при низких анодных напряжениях (до 500—700 *в*) он выбирается равным 0,90. С повышением U_{a0} этот коэффициент увеличивают, доводя его до 0,95 при высоких анодных напряжениях (более 1 500—2 000 *в*).

Эквивалентное резонансное сопротивление контура должно иметь величину

$$R_{э.\,опт}=\frac{U_{ma}}{I_{a1}}. \qquad (22)$$

Оно носит название оптимального сопротивления нагрузки.

Подводимая мощность равна

$$P_0=I_{a0}\cdot U_{a0}. \qquad (23)$$

Полезная колебательная мощность, выделяемая в контуре

$$P_1=\frac{I_{a1}\cdot U_{ma}}{2} \qquad (24)$$

и, наконец, мощность, рассеиваемая на аноде,

$$P_a=P_0-P_1. \qquad (25)$$

Далее, необходимо проверить, не превышает ли мощность, рассеиваемая на аноде, допустимую $P_{a\,доп}$ для выбранного типа лампы. В том случае, если она превышает допустимую, придется проделать весь расчет заново выбрав меньшее анодное напряжение U_{a0} или меньше используя лампу по току (т. е., выбрав $I_m<0{,}8I_s$).

К. п. д. анодной цепи определяется по формуле

$$\eta=\frac{P_1}{P_0}\cdot 100\,\%. \qquad (26)$$

Для лампы с оксидным катодом максимальная мощность определяется в основном допустимой мощностью рассеяния на аноде $P_{a\,доп}$. Поэтому при расчете на максимальную мощность ступени, работающей на этих лампах, $P_{1\,макс}$ следует определять как:

$$P_{1\,макс}=2{,}7\cdot P_{a\,доп}.$$

Дальнейший расчет производится по формулам на заданную колебательную мощность, приведенным в следующем разделе.

Расчет на заданную колебательную мощность. Значительно чаще приходится производить расчет выходной

ступени не на максимальную колебательную мощность, а на мощность, указываемую при выдаче разрешения на любительский коротковолновый передатчик.

Проектирование в этом случае начинается с подбора подходящей по мощности лампы. О том, как производится выбор типа лампы, было уже указано выше.

Исходными величинами для расчета являются: заданная колебательная мощность P_1 и данные выбранной лампы: U_{a0}; U'_{c0}; $U_{c_2 0}$; $U_{c_3 0}$; $P_{a\,доп}$; S; D и другие параметры. Режим работы выбираем критический, угол отсечки $\theta = 75^\circ$ ($\alpha_1 = 0{,}455$; $\alpha_0 = 0{,}27$).

Расчет начинаем с определения напряжения на контуре:

$$U_{ma} = \xi \cdot U_{a0} = (0{,}85 - 0{,}95)\, U_{a0}. \qquad (27)$$

Величина коэффициента выбирается так же, как и при расчете на максимальную мощность.

Затем определяем величину тока первой гармоники

$$I_{a1} = \frac{2P_1}{U_{ma}}; \qquad (28)$$

отсюда необходимая величина импульса анодного тока

$$I_m = 2{,}2 I_{a1}; \qquad (29)$$

постоянная составляющая определяется по формуле (20), подводимая мощность по формуле (23), а мощность, рассеиваемая на аноде, — по формуле (25).

Далее необходимо проверить, не превышает ли P_a допустимой величины. Если превышает, то придется применить лампу, допускающую бо́льшую мощность рассеяния на аноде.

Затем, по формуле (26) определяем к. п. д. анодной цепи. Требуемое оптимальное сопротивление нагрузки, т. е. эквивалентное резонансное сопротивление контура в анодной цепи, подсчитывается по формуле (22).

Если в результате расчета окажется, что максимальный импульс анодного тока I_m получается значительно меньше тока насыщения I_s [$I_m < (0{,}75 - 0{,}8) I_s$] или P_1 меньше $P_{ном}$, т. е. лампа мало используется по току, то для передатчика, работающего в широком диапазоне частот или на волнах короче 25 *м*, целесообразнее выбрать бо-

лее низкое анодное напряжение U_{a0} и больше использовать лампу по току. В этом случае понизится требуемое эквивалентное резонансное сопротивление контура $R_э$, в результате чего легче будет изготовить колебательный контур и получить более высокий к. п. д. контура.

Уменьшение величины анодного напряжения U_{a0} желательно еще и потому, что при этом значительно упрощается изготовление высоковольтного выпрямителя для питания анодных цепей. При проектировании маломощных радиостанций III категории, работающих только на 160-*м* диапазоне, такого перерасчета можно не производить, так как применяемые в них лампы работают при низких анодных напряжениях, в связи с чем изготовление выпрямителя для такого передатчика не вызовет затруднений.

Следует отметить, что и для более мощных передатчиков, работающих на 160-*м* диапазоне, в случае если нет затруднений в получении высоких анодных напряжений, такой перерасчет производить нецелесообразно. Причина заключается в том, что на этих частотах изготовить колебательный контур, имеющий достаточно большое $R_э$, не представляет особых трудностей, а при высоком анодном напряжении можно увеличить коэффициент использования анодного напряжения $\xi = \frac{U_{ma}}{U_{a0}}$ (взять, например, $\xi = 0{,}95$) и, тем самым, несколько повысить к. п. д. генератора.

Довольно часто задается не колебательная, а подводимая мощность P_0. В этом случае расчет начинаем с определения постоянной составляющей анодного тока:

$$I_{a0} = \frac{P_0}{U_{a0}}.$$

Далее, подсчитываем величину максимального импульса:

$$I_m = 3{,}7 I_{a0},$$

и затем весь остальной расчет производим по формулам, приведенным для расчета на максимальную мощность [см. формулы (19)—(26)].

Цепь экранной сетки. Во многих случаях экранная сетка лампы выходной ступени питается от общего вы-

прямителя через сопротивление или с помощью делителя напряжения. Как в том, так в другом случаях для определения данных сопротивлений, включенных в цепи экранной сетки, а также и мощности питающего устройства необходимо знать величину постоянной составляющей экранного тока I_{c_20}. Величина этого тока может быть подсчитана по формуле

$$I_{c_20} = (0,15-0,25)\, I_{a0}, \tag{30}$$

а величина сопротивления

$$R = \frac{U_{a0} - U_{c_20}}{I_{c_20}}. \tag{31}$$

Мощность источника анодного тока. В случае питания анодной и экранной цепей от общего источника анодного тока мощность, которую должен он отдавать $P_{ист}$, равняется сумме мощностей, потребляемых этими цепями:

$$P_{ист} = U_{a0} \cdot I_{a0} + U_{a0} \cdot I_{c_20} = U_{a0}(I_{a0} + I_{c_20}). \tag{32}$$

Если передатчик питается от выпрямителя, то при его расчете следует учитывать к. п. д. $\eta_{выпр}$. К. п. д. газотронного выпрямителя (с учетом к. п. д. силового трансформатора) равен 70—75%, а кенотронного — 60÷70%. Потребляемая выпрямителем из сети мощность $P_{выпр}$, на которую приходится рассчитывать силовой трансформатор, превышает мощность, потребляемую анодной и экранной цепью передатчика $P_{ист}$ и равна

$$P_{выпр} = \frac{P_{ист}}{\eta_{выпр}} = \frac{P_{ист}}{(0,60-0,75)}. \tag{33}$$

При питании экранной сетки от отдельного источника тока (например от выпрямителя, питающего промежуточные ступени) мощность, потребляемую ее цепью, следует учитывать при расчете данного выпрямителя.

Цепь управляющей сетки. Импульс анодного тока заданной величины с требуемым углом отсечки θ можно получить лишь в том случае, если к управляющей сетке лампы подвести вполне определенное напряжение возбуждения $U_{mв}$ и напряжение смещения U_{c0}.

Требуемые значения $U_{mв}$ и U_{c0} могут быть подсчитаны по формулам (угол отсечки θ выбран равным 75°);

$$U_{mв} = 1{,}2\left[\frac{I_m}{0{,}74S} + DU_{ma}\right]; \qquad (34)$$

$$U_{c0} = U'_{c0} - 0{,}26\,U_{mв}. \qquad (35)$$

В случае применения в выходной ступени пентода формулу для $U_{mв}$ можно несколько упростить:

$$U_{mв} = 1{,}6\frac{I_m}{S}. \qquad (34')$$

В формулах для определения $U_{mв}$ введен поправочный коэффициент 1,2, с помощью которого учитывается уменьшение крутизны S, вызванное работой лампы в динамическом режиме.

Характерной особенностью работы лампы выходной ступени является то, что к ее управляющей сетке подводится сравнительно большое возбуждающее напряжение $U_{mв}$. В результате в течение некоторой части времени напряжение на управляющей сетке становится положительным и в ее цепи протекает сеточный ток i_{c0}, имеющий импульсный характер, но с углом отсечки θ_c значительно меньшим, чем угол отсечки анодного тока.

Постоянную составляющую сеточного тока I_{c0} можно определить по формулам:

$$I_{c0} = (0{,}1 \div 0{,}15)\,I_{a0} \qquad (36)$$

для триодов и

$$I_{c0} = (0{,}05 \div 0{,}08)\,I_{a0} \qquad (36')$$

для пентодов.

Ток протекает в сеточной цепи в направлении, указанном стрелкой на фиг. 13,*а*. Его можно измерить миллиамперметром mA_1.

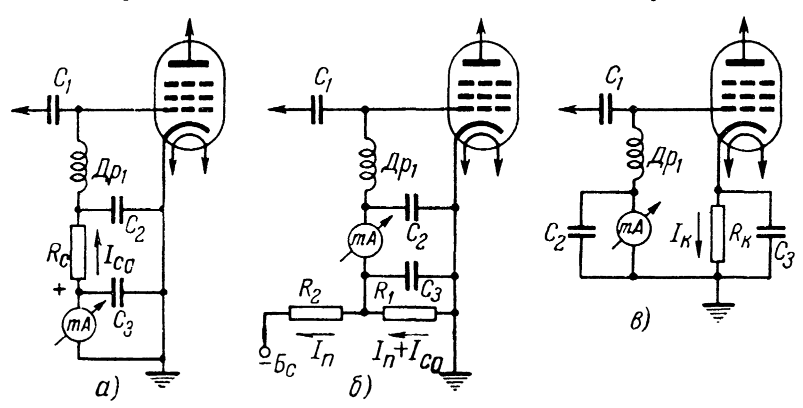
Постоянную составляющую сеточного тока можно использовать для получения отрицательного смещения U_{c0}. С этой целью в цепь сетки, кроме дросселя высокой частоты *Др*, включают еще активное сопротивление R_c. Ток I_{c0}, проходя через это сопротивление, создает на нем

постоянное напряжение, минус которого оказывается приложенным к управляющей сетке лампы.

Величина сопротивления R_c может быть подсчитана по формуле

$$R_c = \frac{U_{c0}}{I_{c0}}. \quad (37)$$

В случае, если U_{c0} подается от отдельного источника тока и снимается с делителя напряжения (фиг. 13,*б*), расчет сопротивлений делителя необходимо производить



Фиг. 13. Схемы подачи отрицательного смещения на управляющую сетку лампы оконечной ступени.

с учетом сеточного тока I_{c0} и выбрать их величину так, чтобы ток I_n, проходящий через делитель, был в 4—5 раз больше сеточного. Таким образом,

$$R_1 = \frac{U_{c0}}{5I_{c0}}; \quad (38)$$

$$R_2 = \frac{U_{бc} - U_{c_0}}{4I_{c0}},$$

где $U_{бc}$ — напряжение батареи (выпрямителя) смещения.

Напряжение смещения можно получить также и за счет катодного тока (фиг. 13,*в*). В этом случае

$$R_к = \frac{U_{c0}}{I'_{a0} + I_{c0} + I_{c_20}}. \quad (39)$$

Здесь нужно учитывать, что действующяя величина анодного напряжения U_{a0}, измеряемая между анодом и катодом лампы, оказывается на величину U_{c0} меньше, чем напряжение источника анодного тока. Поэтому его напряжение должно быть равным

$$U_б = U_{a0} + U_{c0}. \tag{40}$$

Наличие сеточного тока вызывает некоторый расход мощности в сеточной цепи. Эта мощность поступает от предоконечной ступени и подсчет ее величины имеет большое значение, так как определяет мощность генератора, служащего для возбуждения выходной ступени. Расход мощности в сеточной цепи можно подсчитать по формуле

$$P_c = U_{mв} \cdot I_{c0}. \tag{41}$$

Пример расчета.

Произведем расчет выходной ступени передатчика, работающей на генераторном пентоде типа Г-414, на колебательную мощность, отдаваемую в антенну $P_A = 100$ *вт.*

Данные лампы Г-414 следующие:

$$U_{a0} = 1500 \text{ в}, \quad U'_{c0} = -40 \text{ в}, \quad U_{cэ0} = 350 \text{ в}, \quad U_{cз0} = 40 \text{ в}; \quad I_e = 500 \text{ ма},$$

$$S = 6 \text{ ма/в}, \quad D = 0{,}002, \quad P_{a\ доп} = 100 \text{ вт}.$$

Принимаем, что к. п. д анодного контура генератора равен 80% ($\eta_к = 0{,}8$). Тогда полная колебательная мощность

$$P_1 = \frac{P_A}{\eta_к} = \frac{100}{0{,}8} = 125 \text{ вт}.$$

Выбираем анодное напряжение $U_{a0} = 1\,400$ *в*, режим работы — критический, $\xi = 0{,}93$ и угол отсечки $\theta = 75°$.

Напряжение на контуре

$$U_{ma} = \xi \cdot U_{a0} = 0{,}93 \cdot 1\,400 = 1\,300 \text{ в}.$$

Токи

$$I_{a1} = \frac{2P_1}{U_{ma}} = \frac{2 \cdot 125}{1\,300} = 0{,}192 \text{ а};$$

$$I_m = 2{,}2 \cdot I_{a1} = 2{,}2 \cdot 0{,}192 = 0{,}422 \text{ а};$$

$$I_{a0} = 0{,}27 \cdot I_m = 0{,}27 \cdot 0{,}422 = 0{,}115 \text{ а}.$$

Оптимальное сопротивление контура

$$R_{э\,опт} = \frac{U_{ma}}{I_{a1}} = \frac{1\,300}{0{,}192} = 6\,800 \text{ ом.}$$

Подводимая мощность

$$P_0 = I_{a0} U_{a0} = 0{,}115 \cdot 1\,400 = 161 \text{ вт.}$$

Мощность, рассеиваемая на аноде

$$P_a = P_0 - P_1 = 161 - 125 = 36 \text{ вт.}$$

Таким образом, мощность, рассеиваемая на аноде, оказалась меньше допустимой $P_{a\,доп} = 100$ *вт* и, следовательно, выбранный режим безопасен для лампы.

Коэффициент полезного действия

$$\eta = \frac{P_1}{P_0} = \frac{125}{161} = 0{,}778, \text{ или } 77{,}8\%.$$

Ток экранной сетки

$$I_{c20} = 0{,}25 I_{a0} = 0{,}25 \cdot 0{,}115 = 0{,}03 \text{ а (30 ма).}$$

Величина погашающего сопротивления

$$R_{c_2} = \frac{U_{a0} - U_{c_2 0}}{I_{c_2 0}} = \frac{1\,400 - 350}{0{,}03} = 35\,000 \text{ ом.}$$

Мощность, потребляемая от выпрямителя

$$P_{ист} = U_{a0} (I_{c_2 0} + I_{a0}) = 1\,400 \cdot 0{,}15 = 210 \text{ вт.}$$

Напряжение возбуждения

$$U_{mв} = 1{,}6 \frac{I_m}{S} = 1{,}6 \cdot \frac{0{,}422}{0{,}006} = 110 \text{ в.}$$

Здесь крутизна

$$S' = 6 \text{ ма/в} = 0{,}006 \text{ а/в.}$$

Напряжение смещения

$$U_{c0} = U'_{c0} - 0{,}26 U_{mв} = -40 - 28 = -68 \text{ в.}$$

Постоянная составляющая сеточного тока

$$I_{c0} = 0{,}08 I_{a0} = 0{,}08 \cdot 0{,}115 = 0{,}01 \text{ а.}$$

Сопротивление утечки

$$R_c = \frac{U_{c0}}{I_{c0}} = \frac{68}{0,01} = 6\,800 \text{ ом.}$$

Мощность, расходуемая в цепи сетки

$$P_c = U_{mв} \cdot I_{c0} = 110 \cdot 0,01 = 1,1 \text{ вт.}$$

В ряде случаев выходная ступень передатчика должна работать с углом отсечки, равным 90°. Расчет ступени для этого угла ничем не отличается от приведенного выше, за исключением того, что при $\theta = 90°$ формула (19) примет вид $I_{a1} = 0,51 I_m$, формула (20)—$I_{a0} = 0,32 I_m$, формула (29)—$I_m = 2 I_{a1}$, формула (34)—$U_{mв} = 1,2 I_m / S$ и формула (35) — $U_{c0} = U'_{c0}$.

3. СХЕМЫ И ИХ ЭЛЕМЕНТЫ

Колебательный контур. Эквивалентное сопротивление колебательного контура зависит от его параметров: индуктивности L, емкости C и активного сопротивления $R_к$ и может быть подсчитано по следующей формуле:

$$R_э = 1\,000\,000 \frac{L_{мкгн}}{R_к \cdot C_{мкмкф}}. \qquad (42)$$

В активное сопротивление $R_к$ входит не только сопротивление катушки для токов высокой частоты $r_к$, но также вносимые сопротивления от различных потерь $r_п$ (потери в диэлектриках, близко расположенных металлических предметах и пр.) и вносимое сопротивление антенной цепи $r_{вн.а}$:

$$R_к = r_к + r_{вн.а} + r_п.$$

Отношение вносимого в контур антенной цепью сопротивления $r_{вн.а}$ к полному сопротивлению контура является к. п. д. контура:

$$\eta_к = \frac{r_{вн.а}}{r_к + r_{вн.а} + r_п}. \qquad (43)$$

Из формулы $R_э = \frac{L}{CR}$ видно, что требуемое эквивалентное сопротивление контура можно получить путем под-

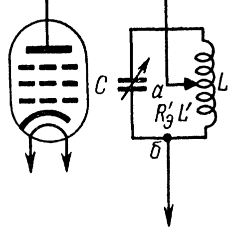
бора величин L и C. Естественно, конечно, что изменение L и C необходимо производить так, чтобы контур оставался все время настроенным на заданную частоту. Однако ввиду большой сложности такой способ подбора $R_э$ в передатчиках практически не применяется.

Значительно удобнее подобрать требуемое $R_э$ путем изменения связи лампы с контуром, что легко достигается перестановкой анодного щупа (фиг. 14). Величина резонансного сопротивления контура между точками включения *аб* (фиг. 14) в этом случае окажется равной

$$R_э' = \left(\frac{L'}{L}\right)^2 \cdot R_э, \qquad (44)$$

где $R_э$ — полное резонансное сопротивление контура.

Однако на волнах короче 25—30 *м*, этот способ не применяется по тем соображениям, что на этих волнах $R_э$ даже ненагруженного контура невелико, а при включении его в схему из-за вносимых сопротивлений становится еще меньше.



Фиг. 14. Подбор $R_э$ при помощи щупа.

В результате на 10- 14-*м* диапазонах оно часто оказывается даже меньше требуемого оптимального, почему здесь не всегда удается получить критический режим, а следовательно, и заданную мощность.

Увеличить $R_э$ можно путем улучшения качества контура, а также уменьшением до минимума его емкости. При таком выполнении контура его резонансное сопротивление получается уже достаточно большим. Так как $R_э$ в широких пределах можно изменять путем регулировки величины вносимого сопротивления, то в этом случае требуемое резонансное сопротивление легко можно получить, подбирая связь контура с антенной. При таком способе подбора $R_э$ связь контура с антенной оказывается довольно сильной, в результате чего повышается к. п. д. и увеличивается мощность, отдаваемая передатчиком в антенну.

Итак, для любительских коротковолновых передатчиков, работающих на волнах 20 *м* и короче, контур выходной ступени необходимо выполнять так, чтобы его емкость

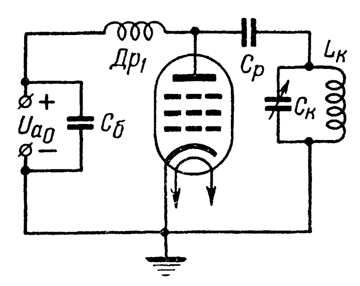
была возможно меньшей, а требуемое оптимальное сопротивление $R_{э. опт}$ устанавливать путем подбора связи контура с антенной. Не следует брать связь с антенной слишком сильной, так как при этом его $R_э$ резко понизится, режим работы выходной ступени передатчика окажется недонапряженным, и в результате отдаваемая мощность уменьшится. К. п. д. генератора при этом также уменьшится, вследствие чего резко возрастет мощность, рассеиваемая на аноде лампы; анод лампы будет нагреваться, и лампа может выйти из строя.

Для 40-*м* диапазона общую емкость контура следует выбирать порядка 40—50 *мкмкф,* а для 160-*м* — около 100—120 *мкмкф.*

Для уменьшения потерь в контуре катушку контура желательно выполнять из возможно более толстого (3—5 *мм*) медного посеребренного провода или медной трубки и делать бескаркасной или на распорках. Вблизи катушки контура, по крайней мере на расстоянии, равном ее диаметру, не рекомендуется помещать какие-либо детали и, особенно, стальные экраны.

При таком выполнении катушки к. п. д. анодного контура выходной цепи получается равным, примерно, 60—80%, причем чем длиннее волна и большей мощности передатчик, тем выше будет $\eta_к$

Схемы питания. Анодный контур генератора может быть включен в схему двумя различными способами: по схеме последовательного питания (фиг. 11), в которой контур и источник анодного тока соединены последовательно, и параллельного питания (фиг. 15), в которой пути постоянного и переменного тока разделены.



Фиг. 15. Схема параллельного питания.

Каждая из этих схем имеет свои достоинства и недостатки. Так, достоинством схемы последовательного питания является то, что в ней, кроме лампы, параллельно к контуру не подключено никаких дополнительных деталей, ухудшающих его качества. Но здесь колебательный контур находится по отношению к земле под полным анодным напряжением, что очень неудобно в конструктивном отношении и при на-

лаживании передатчика представляет опасность для оператора.

Схема параллельного питания (фиг. 15) свободна от этого недостатка. В этой схеме постоянный ток поступает к лампе через дроссель высокой частоты $Др_1$. В контур путь ему преграждает разделительный конденсатор C_p. Переменная составляющая анодного тока проходит в контур через разделительный конденсатор C_p. В цепи питания путь ей преграждает дроссель $Др_1$.

Конденсатор C_p и дроссель $Др_1$ играют важную роль в работе генератора, и поэтому к ним предъявляются очень жесткие требования. Емкость конденсатора должна быть достаточно большой, чтобы его сопротивление для переменной составляющей анодного тока было мало и чтобы на нем не происходило большого падения напряжения высокой частоты. Практически, на коротких волнах емкость разделительного конденсатора следует брать в пределах 3 000 — 5 000 *мкмкф*.

Конденсатор должен быть рассчитан на рабочее напряжение равное или большее, чем напряжение источника анодного тока.

Более сложным оказывается расчет дроссельных катушек, особенно если передатчик работает в широком диапазоне частот.

Вследствие того, что емкость разделительного C_p и блокирующего $C_б$ конденсаторов велика, дроссель для высокой частоты оказывается подключенным параллельно к колебательному контуру и в него ответвляется часть токов высокой частоты, создавая дополнительные потери энергии. Чем больше будет этот ток, тем больше энергии будет теряться в дросселе и меньшая мощность выделяться в анодном контуре. Чтобы свести эти потери к минимуму, необходимо выполнить дроссель так, чтобы его сопротивление для токов высокой частоты было возможно бо́льшим.

Практически, дроссель хорошо работает только в сравнительно узком диапазоне волн, в пределах, примерно, от λ_0 и до $1,5\lambda_0$ и несколько хуже до $2—2,5\lambda_0$. Здесь λ_0 — собственная волна дросселя. На волнах короче чем λ_0 он ведет себя уже не как индуктивность, а как емкость, а на волнах более длинных его индуктивное сопротивление оказывается недостаточным, в результате чего в него ответвляется значительная часть токов высокой частоты. Следовательно, диапазон волн передатчика, собранного

по схеме параллельного питания, будет ограничен, причем его минимальная волна не должна быть короче чем λ_0 дросселя (в крайнем случае $0,8\lambda_0$), а наиболее длинная — в пределах $1,5—2\lambda_0$. Так, например, если λ_0 дросселя равна 13 *м*, то диапазон передатчика должен быть не шире чем от 13 до 20 — 26 *м*. Любительские диапазоны охватывают более широкий диапазон волн. Поэтому наилучшие результаты получаются, если для каждого любительского диапазона сделать отдельный дроссель.

Собственную волну дросселя можно определить по формуле

$$\lambda_0 \approx 3,2l, \qquad (45)$$

где l — длина провода (в метрах), из которого намотан дроссель.

Междувитковая емкость дросселя, оказываясь включенной параллельно контуру, увеличивает его начальную емкость. Увеличение начальной емкости уменьшает перекрываемый контуром диапазон частот и, кроме того, приводит к уменьшению его резонансного сопротивления $R_э$. Это крайне нежелательно, особенно для самых коротковолновых любительских диапазонов (10, 14 и 20 *м*), где $R_э$ контура получается недостаточным.

С целью уменьшения междувитковой емкости целесообразно применять дроссели, обмотки которых размещены на длинном каркасе малого диаметра.

Итак, в любительском коротковолновом передатчике, собранном по схеме параллельного питания, для каждого диапазона желательно иметь отдельный дроссель; конструктивно его лучше всего выполнить на керамическом каркасе диаметром 15—20 *мм*, намотав на него в один слой провод длиной, приблизительно, $^1/_4$ длины рабочей волны, т. е. для 40-*м* диапазона 10 *м*; для 20-*м* — 5 *м* и т. д. Провод желательно применять в шелковой изоляции диаметром 0,25—0,35 *мм*.

Дроссели, включаемые в сеточные цепи ламп, следует выполнять на керамических каркасах диаметром 8—12 *мм* проводом ПЭ 0,1—0,15 *мм*.

Дроссели, работающие на волнах порядка 80 *м* и длиннее, для уменьшения геометрических размеров обычно делают многослойными, секционированными. Ширина каждой секции 3—4 *мм* с внутренним диаметром 5—10 *мм* и внешним 10—25 *мм*, намотка выполняется в виде сотовой катуш-

ки, катушки типа «универсаль» или наматывается «внавал» между двумя щечками из тонкого высококачественного изолятора. Секции размещаются на керамическом цилиндре или палочке на расстоянии 3—6 *мм* друг от друга и соединяются между собой последовательно. Число секций в таком дросселе составляет 3—5; провод ПЭШО — 0,1 — 0,25 в зависимости от тока, проходящего через дроссель.

В случае необходимости использования дросселя в широком диапазоне частот длина провода дросселя должна составлять, примерно, 0,4 $\lambda_{мин}$. Для диапазона волн, начиная от 40 *м* и короче, дроссель делается однослойным секционированным, причем, ширина секций, считая от конца, находящегося под потенциалом высокой частоты, постепенно возрастает. Если дроссель должен работать еще и в диапазоне 80—160 *м*, то он делается комбинированным: к описанному выше дросселю добавляются одна-две многослойные секции.

К дросселям высокой частоты, стоящим в схемах с последовательным питанием, такие жесткие требования не предъявляются, так как они в работе контура не участвуют. Важно лишь, чтобы их сопротивление было достаточно велико. Длину провода дросселя в этом случае желательно брать равной 0,2—0,3 $\lambda_{мин}$.

Из сказанного выше можно сделать вывод, что в коротковолновых передатчиках, работающих на волнах короче 20 *м* или в широком диапазоне частот, целесообразно применять схемы с последовательным питанием.

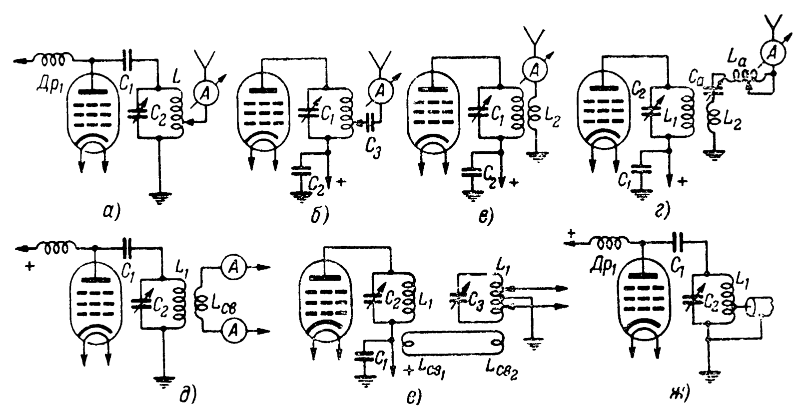
В остальных случаях лучше применять схемы параллельного питания, так как они безопаснее для оператора.

Связь с антенной. Выбор того или иного вида связи антенны с контуром выходной ступени передатчика в большой степени зависит как от конструкции антенны, так и от схемы самой ступени.

На фиг. 16 приведены различные схемы связи. Схема, приведенная на фиг. 16,*а*, в которой антенна связана с контуром непосредственно, является простейшей. Такой вид связи можно применить лишь в случае, когда выходная ступень собрана по схеме параллельного питания, а антенна представляет собой диполь с однородным фидером, работающим в режиме бегущей волны, или луч длиной около $1/4\,\lambda$. Если же выходная ступень собрана по схеме последовательного питания, то следует применить схему, изображенную на фиг. 16,*б*. Отличается она от предыдущей схемы тем, что

в ней последовательно с антенной включен конденсатор C_3 емкостью 500—1 000 *мкмкф*, изолирующий антенну от высокого напряжения постоянного тока, под которым находится контур. В обеих схемах степень связи антенны с контуром регулируется перемещением антенного щупа по виткам контурной катушки. Величину тока в антенне можно контролировать тепловым амперметром, прибором с термопарой или, ориентировочно, лампочкой накаливания (2—6 *в*), включенными последовательно с антенной.

Схема с индуктивной связью (фиг. 16,*в*) является более удобной, чем схемы с непосредственной связью, так как дает возможность осуществить плавное изменение связи



Фиг. 16. Схемы связи с антенной.

антенны с контуром путем перемещения катушки связи L_2 вдоль контурной катушки или выдвижением ее из поля последней в направлении, перпендикулярном оси катушки. Ручку регулировки связи можно вывести на переднюю панель. Это упрощает процесс настройки, предохраняет оператора от случайного ожога токами высокой частоты и повышает оперативность в настройке передатчика. Схема, изображенная на фиг. 16,*в*, может применяться при использовании тех же антенн, что и в предыдущих схемах.

В случае использования в качестве антенны штыря или луча провода, длина которых отличается от $1/4\ \lambda$, последовательно с антенной включаются катушка L_a или конденсатор C_a (фиг. 16,*г*), которые служат для настройки антенной цепи в резонанс. Катушка включается в том случае, когда

длина провода антенны (или штыря) оказывается меньшей, чем $^1/_4$ длины волны ($l < {}^1/_4\ \lambda$), а конденсатор C_a — когда провод антенны длиннее, чем $^1/_4 \lambda$. Часто катушку и конденсатор включают одновременно; в этом случае скачкообразным изменением индуктивности катушки производится грубая настройка антенной цепи, а затем плавным изменением емкости конденсатора C_a — точная настройка в резонанс.

Симметричные антенны с двухпроводным фидером, питаемым током, удобнее всего связывать с контуром, используя схему с индуктивной связью, изображенную на фиг. 16,*д*. Катушка связи $L_{св}$ состоит из 1—2 витков провода и для ослабления емкостных связей, вносящих асимметрию в фидер, помещается со стороны заземленного конца контурной катушки.

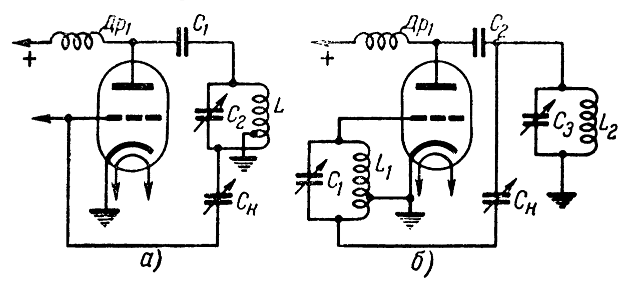
В случае, если симметричная антенна с двухпроводным фидером питается напряжением или фидер имеет сравнительно высокое волновое сопротивление (500—700 *ом*), приходится применять более сложную схему, изображенную на фиг. 16,*е*. Здесь уже используются два колебательных контура, между которыми осуществляется звеньевая связь. Катушки связи $L_{св1}$ и $L_{св2}$ должны иметь по возможности меньшую индуктивность (1—2 витка) и связь между ними осуществляется с помощью коаксиального кабеля или витого провода (гупера, электрического шнура и т. д.). Второй контур может быть при необходимости отнесен на значительное расстояние от передатчика (1—2 *м*).

Наличие второго контура улучшает фильтрацию гармоник, возникающих в анодной цепи, и тем самым, значительно снижает количество помех, создаваемых передатчиком на кратных диапазонах (например, на 20-*м* — при работе передатчика на 40 *м*). Дополнительные потери мощности, возникающие при введении в схему второго контура, невелики и составляют всего 8—10% от полезной мощности.

На фиг. 16,*ж* показана схема связи для случая, когда антенна питается с помощью коаксиального кабеля. Если выходная ступень собрана по схеме последовательного питания, то последовательно с кабелем следует включить разделительный конденсатор в 3 000—5 000 *мкмкф* или применить индуктивную связь.

Правильный подбор величины связи с антенной имеет огромное значение для получения требуемой мощности и наилучшего режима работы ступени.

У многих радиолюбителей сложилось ошибочное мнение, что чем сильнее связь антенны с контуром выходной ступени, тем бо́льшая мощность будет поступать в антенну. Но, как указывалось выше, вследствие изменения величины вносимого в контур сопротивления изменение степени связи антенны с контуром сильно меняет режим работы ступени. При слишком сильной связи в контур вносится большое сопротивление; эквивалентное резонансное сопротивление контура $R_э$ сильно уменьшается, и режим работы генератора становится недонапряженным. В результате уменьшается



Фиг. 17. Схемы нейтрализации.

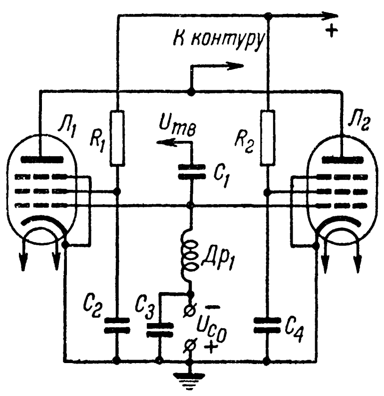
колебательная мощность в анодном контуре генератора, а следовательно, уменьшается и мощность, передаваемая в антенну. Поэтому, чтобы получить высокий к. п. д. генератора и максимальную мощность в антенне, связь антенны с контуром следует подобрать такой, чтобы режим выходной ступени был критическим или слегка перенапряженным.

Нейтрализация. В коротковолновых передатчиках мощностью от 300—400 *вт* и выше часто применяются генераторные триоды. Междуэлектродная емкость между анодом и сеткой C_{ac} у триодов, как известно, велика, и поэтому она может явиться причиной нежелательных связей, приводящих к самовозбуждению или неустойчивой работе ступени, появлению мешающего приему негативного сигнала, а также резкому ухудшению качества модуляции и пр. Для устранения нежелательных связей, возникающих через емкость C_{ac}, в передатчиках применяются специальные схемы нейтрализации. Две наиболее распространенные из них приведены на фиг. 17.

Принцип работы обеих схем заключается в том, что из анодной цепи в сеточную (фиг. 17,*а*) или, наоборот, из сеточной в анодную (фиг. 17,*б*), в зависимости от схемы ней-

трализации, через специальный нейтродинный конденсатор $C_н$ емкостью около 30—50 *мкмкф* направляется ток, равный по величине и противоположный по фазе току, проходящему через емкость C_{ac}. Этот ток, проходя в цепи сетки, создает в ней напряжение, равное по величине и противоположное по фазе напряжению, возникающему под действием тока, проходящего через емкость C_{ac} и, тем самым, компенсирует (нейтрализует) его действие. Нужная фаза тока в нейтрализующей цепи получается путем соответствующего включения контура (фиг. 17), к которому подключен нейтродинный конденсатор. Регулировка схемы производится подбором емкости конденсатора $C_н$.

По тому, в какую цепь включен нейтродинный конденсатор, различают две схемы нейтрализации: анодную (фиг. 17,*а*) и сеточную (фиг. 17,*б*). Эти схемы равноценны по качеству нейтрализации, но с конструктивной точки зрения более удобна схема анодной нейтрализации, так как в ней нейтродинный конденсатор находится под меньшим напряжением высокой частоты, чем в схеме сеточной нейтрализации.



Фиг. 18. Параллельное включение ламп.

Следует отметить, что в передатчиках, генерирующих очень высокие частоты (28 *мггц* и выше), нейтрализация часто применяется в ступени, собранной на пентоде, так как на этих частотах емкость C_{ac} пентода уже оказывается достаточной для образования нежелательных связей.

Параллельное включение ламп. При параллельном включении ламп (фиг. 18) величина анодного напряжения U_{a0}, напряжения смещения U_{c0}, возбуждения $U_{mв}$, а также выбранный угол отсечки θ, к. п. д., коэффициент использования анодного напряжения ξ и, следовательно, напряжение U_{ma}—остаются теми же, что и при одной лампе.

Максимальный импульс анодного тока I_m, ток первой гармоники I_{a1} и постоянная составляющая I_{a0} увеличиваются во столько раз, сколько ламп включено параллельно. Во столько же раз увеличатся колебательная мощность P_1

и подводимая мощность P_0, а также токи сетки и мощность, расходуемая в сеточной цепи.

Требуемое эквивалентное сопротивление контура $R_{э.\,опт}$ и сопротивление утечки R_c вследствие возросших токов необходимо уменьшить во столько раз, сколько ламп включено параллельно.

Однако практически при параллельном включении ламп мощность, отдаваемая ступенью, увеличивается не пропорционально числу включенных ламп, а несколько медленее [см. формулу (16)]. Происходит это, во-первых, из-за неоднородности ламп и, во-вторых, вследствие асимметрии схемы, вносимой монтажем.

Причина понижения мощности при асимметрии заключается в том, что в этом случае проводники, несущие токи высокой частоты, оказываются различной длины и на них происходит различное падение напряжений. В результате на управляющих сетках и на анодах ламп получаются различной величины переменные напряжения, и лампы работают в неодинаковых условиях, т. е. когда одна лампа работает в режиме максимальной мощности, мощность, отдаваемая второй лампой, оказывается пониженной. Кроме того, на самых высоких частотах это приводит к несовпадению фаз. Все это снижает общую мощность, отдаваемую ступенью.

Для уменьшения асимметрии лампы необходимо включать так, чтобы проводники, несущие токи высокой частоты к одноименным электродам, были точно одинаковой длины.

Увеличение числа параллельно работающих ламп понижает устойчивость работы ступени и облегчает возникновение различных паразитных колебаний. Поэтому на коротких волнах не рекомендуется включать параллельно более двух ламп. Чтобы повысить устойчивость работы ступени, экранные сетки параллельно работающих ламп следует включать так, как показано на фиг. 18, а также применить специальные меры, о которых будет сказано в гл. 6.

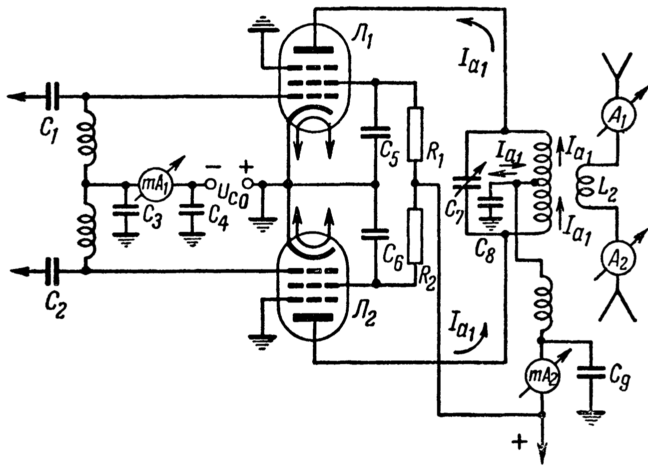
При расчете ступени, в которой работают две параллельно включенные лампы, в формуле для определения величины возбуждающего напряжения вместо крутизны S следует подставить удвоенную величину крутизны $2S$.

Следует иметь в виду, что в два раза увеличиваются также ток насыщения I_s или эмиссии катода I_e и допустимая мощность рассеяния на аноде $P_{а\,доп}$.

В остальном расчет производится по ранее приведенным формулам.

Двухтактная схема. В коротковолновых передатчиках часто применяется двухтактная схема включения ламп (фиг. 19).

В этой схеме анодное напряжение U_{a0} и напряжение смещения U_{c0} выбираются такими же, как и в обычной однотактной схеме. Напряжение возбуждения подается на управляющие сетки ламп в противоположных фазах, т. е. когда на сетку первой лампы поступает положительная



Фиг. 19. Двухтактная схема.

полуволна возбуждающего напряжения, на сетку другой — отрицательная. В результате в то время как в анодной цепи первой лампы появится импульс тока, вторая лампа окажется запертой и, наоборот, когда первая лампа будет запертой, вторая лампа откроется и в ее анодной цепи пойдет ток. Таким образом, лампы в двухтактной схеме работают поочередно и токи первой гармоники в их анодных цепях окажутся в противофазе. Колебательный контур в этой схеме включается так, что его средняя точка имеет нулевой потенциал высокой частоты, а противоположные концы присоединяются к анодам ламп. Вследствие такого включения в схеме происходит «переворачивание» фазы, и токи первой гармоники обеих ламп проходят через контур в одном направлении, в то время как в питающем проводе их направ-

ление противоположно и они взаимно уничтожают друг друга. В результате ток первой гармоники в двухтактной схеме циркулирует в цепи, состоящей из последовательно соединенных двух ламп и колебательного контура, и отсутствует в цепях питания. На фиг. 19 направление токов в каждом плече и в общей цепи показано стрелками.

Постоянные составляющие анодного тока I_{a0} обеих ламп в общем проводе складываются, и результирующий ток I'_{a0} в цепях питания равен

$$I'_{a0} = 2I_{a0}. \qquad (46)$$

Чтобы получить критический режим, переменное напряжение на аноде каждой лампы, снимаемое соответственно с верхней или нижней половины контура, должно быть равно напряжению U_{ma}, как и в однотактной схеме. Поэтому полное колебательное напряжение на контуре $U_{mк}$ по сравнению с напряжением на контуре для однотактной схемы оказывается удвоенным:

$$U_{mк} = 2U_{ma}. \qquad (47)$$

Так как I_{a1} остается прежним, то, следовательно, для получения удвоенного напряжения на контуре его оптимальное резонансное сопротивление должно быть в два раза выше, чем в однотактной схеме и в четыре раза выше, чем при параллельном включении двух ламп

$$R'_{э.\,опт} = \frac{U_{mк}}{I_{a1}} = \frac{2U_{ma}}{I_{a1}} = 2R_{э.\,опт}. \qquad (48)$$

Колебательная мощность, выделяемая в контуре, также удвоится:

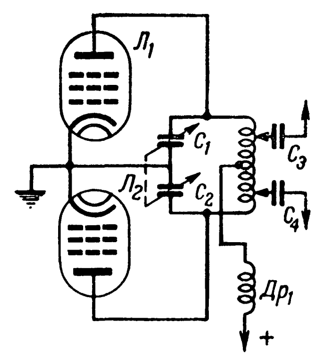
$$P'_1 = \frac{U_{mк} \cdot I_{a1}}{2} = \frac{2U_{ma} I_{a1}}{2} = 2P_1. \qquad (49)$$

Таким образом, при использовании двухтактной схемы по сравнению с однотактной удваиваются: полезная мощность P_1; подводимая мощность P_0; ток постоянной составляющей I_{a0}; напряжение на контуре $U_{mк}$; требуемое резонансное сопротивление контура $R_{э.\,опт}$; напряжение и мощность, необходимые для возбуждения ступени, а также постоянная составляющая сеточного тока I_{c0}. Остальные

величины: U_{a0}, U_{c0}, I_{a1}, θ, ξ и η — остаются без изменений.

Практически, колебательная мощность в двухтактной схеме увеличивается не в 2 раза, а процентов на 70—80. Это объясняется, как и при параллельном включении, неоднородностью ламп, а также трудностью выполнения строгой симметрии схемы.

Особенно трудно бывает найти точно среднюю точку контурной катушки. Поэтому чаще контур заземляют в середине не с помощью индуктивного, а с помощью емкостного делителя. В этом случае схема приобретает вид, приведенный на фиг. 20. Оба конденсатора (C_1 и C_2) выбираются точно одинаковой емкости и насаживаются на одну ось или применяются специальные сдвоенные конденсаторы. Таким образом, на всем диапазоне удается сохранить точную симметричность включения выходного контура.



Фиг. 20. Схема емкостного делителя.

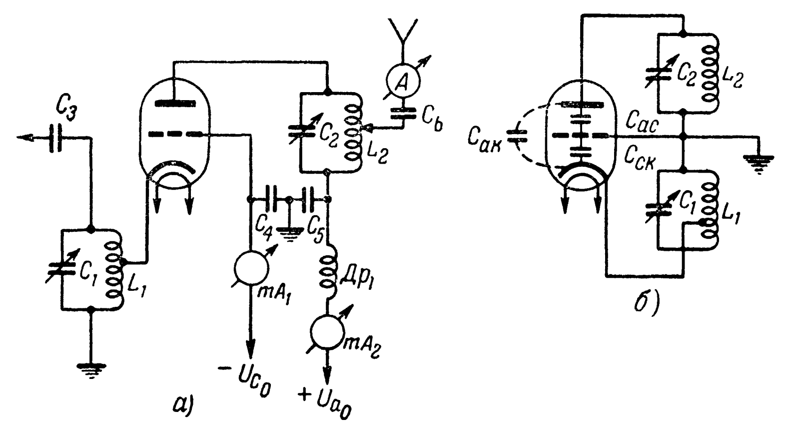
Чтобы не вносить асимметрии в схему, антенну для двухтактной ступени желательно применять симметричную. В случае питания ее током связь выходного контура с антенной выбирается индуктивной, как показано на фиг. 19; в случае питания напряжением — как показано на фиг. 20.

По сравнению с параллельным включением ламп эта схема обладает тем преимуществом, что она работает более устойчиво и менее склонна к возникновению паразитных колебаний.

Кроме того, двухтактная схема обладает еще одним очень существенным преимуществом по сравнению с однотактными схемами: фазы токов четных гармоник в двухтактной схеме таковы, что через контур эти токи протекают навстречу друг другу и складываются в проводе питания. Следовательно, действия токов четных гармоник на контур взаимно уничтожаются, и четные гармоники не выделяются в контуре. Это устраняет излучение на четных гармониках и, тем самым, значительно уменьшает количество помех, создаваемых передатчиком. Поэтому применение двухтактных схем в выходной ступени передатчиков для любителей-ко-

ротковолновиков первой группы, а также для мощных клубных радиостанций (от 100 *вт* и выше) нужно считать весьма желательным.

Недостатками двухтактной схемы являются некоторая сложность ее регулировки, необходимость соблюдения строгой симметрии при монтаже, подбора идентичных ламп, применения симметричных антенн и, наконец, необходимость повышенного резонансного сопротивления контура. Правда, последняя задача несколько облегчается тем, что выходные емкости ламп по отношению к контуру оказываются соеди-



Фиг. 21. Схема с заземленной сеткой.

ненными последовательно, что уменьшает его начальную емкость.

Схема с заземленной сеткой. В последнее время в выходных ступенях передатчиков, особенно на ультракоротких волнах, широкое распространение получила схема с заземленной сеткой, предложенная М. А. Бонч-Бруевичем.

Схема выходной ступени с заземленной сеткой, собранной на триоде, изображена на фиг. 21,*а*. В отличие от обычных схем здесь управляющая сетка лампы находится под нулевым потенциалом высокой частоты, а возбуждающее напряжение вводится в цепь ее катода. В случае применения ламп с непосредственным накалом во избежание закорачивания контура питание нити накала осуществляется через дроссели высокой частоты.

Второй особенностью схемы, хорошо видной из эквивалентной схемы ступени, изображенной на фиг. 21,*б*, является

то, что анодный контур здесь оказывается включенным не между анодом и катодом, а между анодом и управляющей сеткой лампы. Вследствие этого вредное влияние междуэлектродной емкости анод—сетка C_{ac}, приводящее в обычных схемах к появлению нежелательных связей и возникновению паразитного самовозбуждения, в рассматриваемой схеме не проявляется; емкость C_{ac} оказывается лишь приключенной параллельно к анодному контуру и увеличивает, тем самым, его начальную емкость. Нежелательная связь между анодным и сеточным контуром в схеме с заземленной сеткой (если не учитывать индуктивности ввода сетки) может возникнуть лишь за счет междуэлектродной емкости между анодом и катодом лампы $C_{ак}$. Однако емкость $C_{ак}$ во много раз меньше, чем емкость C_{ac}, и поэтому эта схема работает значительно устойчивее, чем рассмотренные ранее. Практически, даже при использовании триодов в ней не всегда требуется применение специальных схем нейтрализации, не говоря уже о случаях применения ламп с экранированным анодом.

Следующая особенность схемы с заземленной сеткой состоит в том, что колебательная мощность, выделяющаяся в анодном контуре ступени $P_к$ оказывается на 10—15% больше, чем колебательная мощность P_1, отдаваемая лампой:

$$P_к = P_1 + \Delta P, \quad (50)$$

где

$$\Delta P = (0{,}1 \div 0{,}15) P_1.$$

Дополнительная мощность ΔP доставляется в анодный контур возбуждающей ступенью, которая должна отдавать мощность, на ΔP превышающую мощность, расходуемую в цепи сетки лампы и на потери в контуре. Практически, возбудитель приходится проектировать на колебательную мощность в контуре:

$$P_{1возб} = (0{,}15 \div 0{,}2) P_1. \quad (51)$$

Коротковолновикам, имеющим радиостанции I категории и решившим собрать выходную ступень по схеме с заземленной сеткой, следует иметь в виду, что получить неискаженную телефонную передачу с этой схемой можно лишь

при работе ступени в режиме усиления модулированных колебаний (см. гл. 5). При использовании ступени в схеме сеточной модуляции смещением передача сопровождается большими нелинейными искажениями. Модуляция на анод дает хорошие результаты лишь в том случае, если одновременно с выходной ступенью модулировать и предоконечную ступень.

ГЛАВА ТРЕТЬЯ

ПРОМЕЖУТОЧНЫЕ СТУПЕНИ ПЕРЕДАТЧИКА

1. УМНОЖИТЕЛИ ЧАСТОТЫ

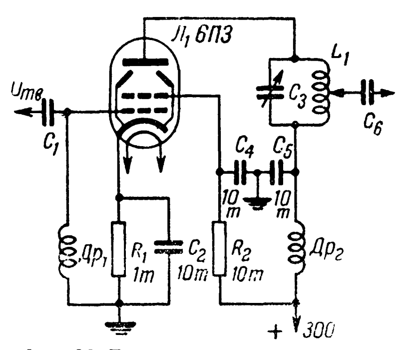
В современных коротковолновых передатчиках широкое применение получили умножители частоты. В качестве умножителя используется обычно генератор с независимым возбуждением. К управляющей сетке лампы генератора подводится переменное напряжение, имеющее частоту f_1, а его анодный контур настраивается на частоту более высокую, кратную частоте подводимого напряжения. В результате в анодном контуре, в зависимости от его настройки, выделяется напряжение той или иной гармоники.

Применение умножителей в различных ступениях передатчика дает ряд существенных преимуществ. Во-первых, сокращается число ступеней, работающих на одной и той же частоте. Это повышает устойчивость установки против паразитного самовозбуждения и, кроме того, уменьшает реакцию выходной ступени на задающий генератор, способствуя, тем самым, повышению стабильности частоты генерируемых колебаний. Использование умножителей позволяет получить достаточно широкий диапазон волн передатчика при значительно более узком диапазоне задающего генератора. Например, если задающий генератор работает на частоте 1,75 *мггц* (160 *м* диапазон), то путем двукратного удвоения можно получить частоту 7 *мггц* (40-*м* диапазон), трехкратного — 14 *мггц* (20-*м* диапазон) и т. д.

Наконец, появляется возможность использования для стабилизации частоты задающего генератора кварцев. Без умножения частоты для самых коротких волн потребовались бы очень тонкие кварцевые пластины, а между тем, чем тоньше пластина, тем труднее ее отшлифовать с требуемой точностью и тем меньшей механической прочностью она обладает.

В радиолюбительской практике наиболее часто применяется удвоение частоты и реже утроение или учетверение. Причиной является то, что с увеличением гармоники резко уменьшается отдаваемая генератором мощность и понижается его к. п. д.

Типовая схема удвоителя изображена на фиг. 22. К управляющей сетке лампы подводится напряжение смещения U_{c0} и переменное напряжение возбуждения $U_{mв}$ частоты f_1 от предыдущей ступени. Анодный контур генератора настраивается на частоту $2f_1$, в результате чего в нем выделяется колебательная энергия удвоенной частоты. Эта энергия снимается с контура и поступает для возбуждения следующей ступени передатчика.



Фиг. 22. Типовая схема удвоителя.

Расчет удвоителя. Заданными величинами здесь являются колебательная мощность P_2 и величина переменного напряжения на его анодном контуре U_{ma2} или анодное напряжение U_{a0}.

Режим работы удвоителя обычно выбирается критическим или перенапряженным, а угол отсечки θ — равным 60°, так как при таком угле отсечки ток второй гармоники достигает наибольшей интенсивности. Но все же и при угле отсечки 60° коэффициент разложения для второй гармоники α_2 оказывается сравнительно малым, и поэтому максимальная колебательная мощность, которую может отдать лампа при удвоении, получается значительно меньшей, чем при работе этой же ступени в режиме усиления. Это обстоятельство всегда следует учитывать при выборе типа лампы для удвоителя.

Ориентировочно $P_{2макс}$ можно подсчитать, пользуясь следующей формулой:

$$P_{2макс} = 0{,}55 P_{ном}. \quad (52)$$

Кроме того, при выборе типа лампы необходимо проверить, не превысит ли мощность, рассеиваемая на ее аноде, допустимой величины.

Ориентировочно при удвоении

$$P_a = 0{,}9 \cdot P_2. \qquad (53)$$

Если подсчитанная по формуле (52) мощность $P_{2макс}$, которую может отдать лампа, достаточна, а P_a не превышает допустимой величины, лампа может быть использована в проектируемой ступени.

Итак, рассчитывая ступень, работающую в режиме удвоения, принимаем коэффициент использования анодного напряжения $\xi = 0{,}9 - 0{,}95$ и угол отсечки $\theta = 60°$. При этом угле отсечки $\alpha_2 = 0{,}28$ и $\alpha_0 = 0{,}22$. Далее, определяем напряжение на контуре:

$$U_{ma2} = (0{,}9 \div 0{,}95)\, U_{a0} \qquad (54)$$

или анодное напряжение, если заданным является U_{ma2}:

$$U_{a0} = (1{,}1 \div 1{,}05)\, U_{ma2}. \qquad (55)$$

Ток второй гармоники равен

$$I_{a2} = \frac{2P_2}{U_{ma2}}, \qquad (56)$$

а величина импульса анодного тока

$$I_m = 3{,}6 I_{a2}. \qquad (57)$$

После определения требуемой величины импульса необходимо проверить, не получается ли она больше чем $0{,}8 I_s$ или I_e лампы. Если получается больше, то придется увеличить анодное напряжение U_{a0} или применить более мощную лампу.

Постоянная составляющая анодного тока равна

$$I_{a0} = 0{,}22 I_m. \qquad (58)$$

Подводимая мощность рассчитывается по формуле

$$P_0 = I_{a0} \cdot U_{a0}.$$

Мощность, рассеиваемая в аноде, определяется по формуле

$$P_a = P_0 - P_2. \qquad (59)$$

Далее, производим проверку, не превышает ли полученная P_a допустимой величины.

К. п. д. анодной цепи удвоителя подсчитывается по формуле

$$\eta = \frac{P_2}{P_0}; \qquad (60)$$

колебательный контур должен иметь эквивалентное сопротивление

$$R_e = \frac{U_{ma2}}{I_{a2}}. \qquad (61)$$

Требуемая величина возбуждающего напряжения

$$U_{me} = \frac{2{,}4 I_m}{S}. \qquad (62)$$

Напряжение смещения

$$U_{c0} = U'_{c0} - 0{,}5 U_{me}. \qquad (63)$$

Мощность, необходимая для возбуждения ступени

$$P_c = I_{c0} \cdot U_{me}. \qquad (64)$$

Сравнивая приведенные расчетные формулы с формулами для режима усиления, нетрудно прийти к выводу, что колебательная мощность, которая может быть получена от лампы в режиме удвоения, оказывается значительно меньшей, чем в режиме усиления; к. п. д. удвоителя невелик и не превышает 50—60%, а мощность, рассеиваемая на аноде лампы, получается сравнительно большой, в результате чего лампа работает в более тяжелых тепловых условиях.

Напряжение возбуждения, требуемое при удвоении для получения такого же по величине импульса анодного тока (и почти вдвое меньшей колебательной мощности), оказывается в два раза больше, чем при работе этой же ступени в режиме усиления. Вследствие этого резко возрастает мощность, расходуемая в цепи управляющей сетки лампы.

Все это говорит о том, что не следует ставить в режим удвоения выходную ступень передатчика. Гораздо целесообразнее производить удвоение частоты в промежуточных ступенях, мощность которых бывает обычно небольшой.

2. ПРЕДОКОНЕЧНАЯ СТУПЕНЬ

Предоконечная ступень служит для возбуждения выходной ступени передатчика, и поэтому ее часто называют возбудителем. Она должна отдавать требуемую для возбуждения мощность, устойчиво работать и перекрывать заданный диапазон частот. В качестве предоконечной ступени используется обычно генератор с независимым возбуждением, работающий в режиме усиления мощности либо в режиме удвоения частоты.

Режим усиления следует применять лишь в мощных передатчиках, выходная ступень которых работает на генераторных триодах, требующих для возбуждения сравнительно большую мощность. В передатчиках небольшой мощности (до 400—600 *вт*) предоконечную ступень целесообразнее ставить в режим удвоения частоты, так как ступень, работающая в режиме удвоения, не склонна к самовозбуждению, в связи с чем работает более устойчиво и значительно проще в налаживании.

Определение выходной мощности ступени. Наиболее ответственной задачей при проектировании возбуждающей ступени является определение ее колебательной мощности.

Мы уже видели, что в случае, когда выходная ступень работает на пентоде, мощность, требуемая для ее возбуждения, невелика и, например для 100-ваттного передатчика, не превышает 1—1,5 *вт*. Однако это не значит, что на такую же колебательную мощность должна рассчитываться и возбуждающая ступень.

Дело в том, что не вся мощность, отдаваемая лампой, используется для возбуждения; часть мощности расходуется в самом контуре на бесполезный нагрев его деталей. Следовательно, полная колебательная мощность P_2, на которую нужно производить расчет возбуждающей ступени, равняется сумме этих мощностей, т. е.

$$P = P_к + P_с, \qquad (65)$$

где $P_к$ — мощность, теряемая в контуре;

$P_с$ — мощность, расходуемая в цепи сетки лампы возбуждаемой ступени.

Качество контуров, применяемых в промежуточных ступенях любительских передатчиков, бывает обычно не особенно высоким (Q редко превышает 80—100). Поэтому мощность, расходуемая в анодном контуре, оказывается до-

вольно большой и обычно значительно превосходит мощность, снимаемую со ступени. В результате к. п. д. анодного контура промежуточной ступени η получается очень низким и не превышает 30—35%. Кроме того, на самых коротких волнах (10—14 *м*) часто не удается получить требуемого $R_э$ контура, в результате чего мощность, отдаваемая ступенью, оказывается меньше расчетной.

Чтобы учесть все потери, предоконечную ступень приходится проектировать на мощность, в 4—6 раз превышающую мощность, требуемую для возбуждения выходной ступени. Таким образом,

$$P_2 = (4 \div 6) \cdot P_c. \tag{66}$$

Чем лучше качество анодного контура и длиннее рабочая волна, тем меньший коэффициент можно брать в этой формуле.

Однако, если передатчик рассчитан для работы в широком диапазоне частот (например, на нескольких любительских диапазонах), то расчет мощности предоконечной ступени необходимо производить для самого коротковолнового диапазона.

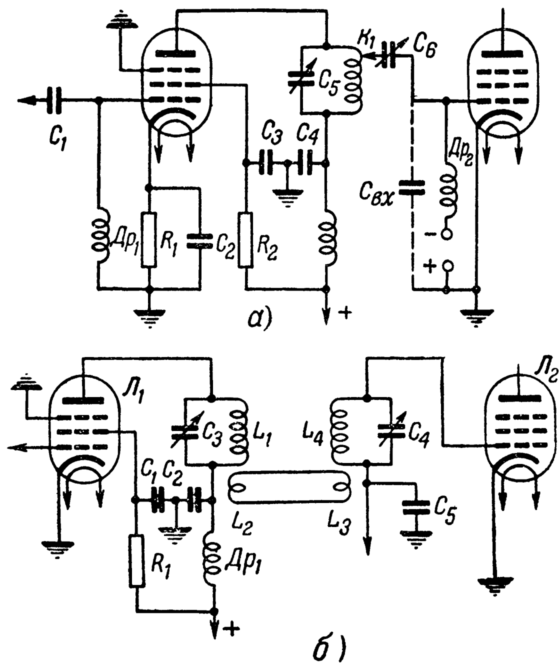
Выбор способа связи. Схема предоконечной ступени приведена на фиг. 23,*а*. Она представляет собой обычный генератор с независимым возбуждением, анодный контур которого связывается с управляющей сеткой выходной ступени.

Выбор способа связи имеет серьезное значение для работы передатчика. В коротковолновых передатчиках наилучшие результаты получаются при осуществлении между ступенями кондуктивной (непосредственной) или емкостной связи.

Индуктивная связь на коротких волнах является нежелательной. Причина заключается в том, что для токов высокой частоты входная емкость лампы представляет малое емкостное сопротивление. Поэтому в случае применения индуктивной связи на сетку лампы выходной ступени попадало бы относительно небольшое возбуждающее напряжение вследствие большого падения напряжения на индуктивности катушки связи. Для увеличения напряжения на управляющей сетке пришлось бы настраивать ее цепь в резонанс путем включения дополнительного переменного конденсатора, что усложнило бы конструкцию передатчика. К таким же результатам приводит длинный соединительный провод,

связывающий анодный контур с сеткой лампы последующей ступени при кондуктивной связи между ними.

Поэтому соседние ступени желательно располагать в непосредственной близости и соединительные провода делать возможно короче. Если по каким-либо причинам последующую ступень приходится устанавливать в некотором отдалении, то даже при относительно небольшом расстоянии



Фиг. 23. Схемы связи между ступенями.

между ними уже приходится применять настраивающийся сеточный контур. Связь между контурами в этом случае удобнее всего применять звеньевую, как показано на фиг. 23,*б*, и осуществлять ее с помощью коаксиального кабеля или витого шнура.

Напряжение на контуре. Режим работы. Итак, в цепях междуступенной связи часть напряжения высокой частоты теряется в переходном конденсаторе и соединительных проводах. Поэтому, чтобы обеспечить требуемое возбуждающее напряжение на управляющей сетке лампы выходной сту-

пени и при налаживании передатчика иметь возможность регулировать его величину, напряжения на анодном контуре возбудителя необходимо устанавливать с некоторым запасом. Для маломощных передатчиков, к категории которых относятся и любительские коротковолновые передатчики, выбирают обычно

$$U_{mк} = (1,8-2)U_{mв}, \qquad (67)$$

где $U_{mв}$ — **напряжение, необходимое для возбуждения выходной ступени.**

Величину возбуждающего напряжения $U_{mв}$ подбирают путем перестановки контурного щупа K_1 (фиг. 23,*а*) или, что более удобно, подбором емкости переходного конденсатора. В последнем случае здесь удобнее всего применить малогабаритный переменный конденсатор (например, подстроечный). При этом получается емкостный делитель напряжения, состоящий из переходного конденсатора и входной емкости лампы.

Чтобы возбуждающее напряжение на сетке лампы выходной ступени оставалось более или менее неизменным в перекрываемом диапазоне частот, предоконечную ступень следует поставить в перенапряженный режим.

Практически, получение перенапряженного режима достигается путем применения анодного контура с малой емкостью и большой индуктивностью, а также подбором величины возбуждающего напряжения.

В перенапряженном режиме изменение резонансного сопротивления контура мало влияет на величину напряжения на нем, и поэтому при изменении волны передатчика возбуждающее напряжение на управляющей сетке лампы выходной ступени будет изменяться незначительно. Кроме того, с меньшей точностью можно будет настраивать сам контур, в связи с чем облегчится процесс настройки передатчика. При небольших изменениях волны, например в пределах некоторой части телеграфного участка любительского диапазона, контур можно будет даже совсем не подстраивать. Это значительно повысит оперативность работы.

Иногда в коротковолновых передатчиках, диапазон волн которых рассчитан на перекрытие только телеграфных участков любительских диапазонов (передатчики II и III категорий), контуры промежуточных ступеней выполняют с фиксированной настройкой совсем без конденсаторов.

Емкостью контура в этом случае являются выходная емкость лампы возбуждающей ступени и входная — возбуждаемой. Контуры настраиваются на середину телеграфных участков любительских диапазонов, причем настройка производится путем изменения индуктивности контурной катушки (например, с помощью магнитодиэлектрика). При таком выполнении контуров режим ступени получается сильно перенапряженным, что обеспечивает более или менее одинаковое напряжение возбуждения на сетках ламп возбуждаемых ступеней во всем диапазоне перекрываемых частот.

После того как будет определена величина напряжения на контуре, следует определить требуемую величину напряжения источника анодного тока U_{a0}. Принимая $\xi = 0{,}95$, получим:

$$U_{a0} = 1{,}05\,U_{m\kappa}. \qquad (68)$$

Если лампа при данном анодном напряжении сможет отдать требуемую мощность, то выбирать U_{a0} большей величины нецелесообразно, так как тогда придется увеличить напряжение на контуре, а это увеличит потери в нем и, следовательно, потребует и увеличения мощности ступени.

В том случае, когда возбуждающее напряжение $U'_{m\text{в}}$ требуется небольшим (например, для ламп 6П3 — 35 ÷ 45 *в*), величину анодного напряжения приходится выбирать из соображений получения заданной колебательной мощности.

Ориентировочно

$$U_{a0} = \frac{5P_1}{I_s} \qquad (69)$$

при работе ступени в режиме усиления и

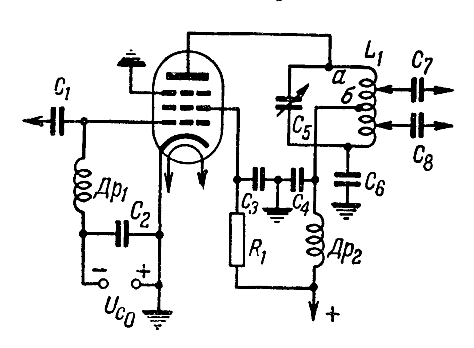
$$U_{a0} = \frac{10P_2}{I_s} \qquad (70)$$

при работе ступени в режиме удвоения.

Полный расчет предоконечной ступени производится по ранее приведенным формулам. Если ступень работает в режиме усиления мощности, то она рассчитывается по тем же формулам, что и выходная ступень, если в режиме удвоения частоты — то по формулам, приведенным для расчета удвоителя.

Возбуждение двухтактной ступени однотактной осуществляется по схеме, приведенной на фиг. 24. Симметричность выхода здесь достигается благодаря тому, что нулевой потенциал высокой частоты имеет не нижний конец контура, а его середина. Кроме того, для улучшения симметрии нижний конец контура через выравнивающий конденсатор, по емкости равный выходной емкости лампы, соединяется с землей.

Вследствие того что в приведенной схеме в анодную цепь лампы включена только половина колебательного контура, эквивалентное резонансное сопротивление $R_э$ между точками *а* и *б* оказывается в четыре раза меньше, чем полное резонансное сопротивление контура $R_э$. Поэтому для получения такого же режима, как и в схемах, рассмотренных ранее, необходимо применить контур, имеющий резонансное сопротивление в четыре раза выше. Особенно высокое $R_э$ требуется при работе ступени в режиме удвоения. Получение такого высокого резонансного сопротивления на коротких волнах вызывает большие трудности и практически оказывается не всегда возможным. Вследствие этого режим работы ступени чаще получается недонапряженным и к. п. д. генератора — сравнительно низким.



Фиг. 24. Схема возбуждения двухтактной ступени однотактной.

Для уменьшения требуемого резонансного сопротивления контура в этой схеме выгоднее ставить лампу с относительно низким анодным напряжением и большим током насыщения. Кроме того, из-за низкого к. п. д. генератора здесь приходится применять более мощную лампу.

Проектирование и расчет всех остальных промежуточных ступеней производится аналогично приведенному для предоконечной ступени. Однако, чтобы не усложнять конструкцию передатчика, в любительских установках U_{a0} для всех промежуточных ступеней можно выбрать одинаковым, равным U_{a0} предоконечной ступени .

Пример расчета.

Требуется рассчитать предоконечную ступень к 100-ваттному передатчику, работающую в режиме удвоения частоты.

Из предыдущего расчета выходной ступени (гл. 2, стр. 41) мы получили, что возбуждающее напряжение $U'_{m\theta} = 110$ *в* и мощность, необходимая для раскачки $P'_c \approx 1$ *вт*.

Таким образом, напряжение на контуре должно быть не менее чем

$$U_{ma2} = (1{,}8 - 2)\, U'_{m\theta} = 162 \div 180 \text{ в}$$

и мощность в контуре

$$P_2 \approx 6 \cdot P'_c \approx 6 \text{ вт}.$$

Выбираем лампу типа 6П3. Ее данные следующие:

$$U_{a0} = 400 \text{ в}; \quad U_{c_2 0} = 250 \text{ в}; \quad U'_{c0} = -25 \text{ в}; \quad I_e = 0{,}25 \text{ а}; \quad P_{a\ доп} = 20{,}5 \text{ вт};$$

$$S = 6{,}0 \text{ ма/в}.$$

Определяем минимальное анодное напряжение U_{a0}, необходимое для получения требуемой мощности:

$$U_{a0} = \frac{10 P_2}{I_e} = \frac{60}{0{,}25} = 240 \text{ в}.$$

Примем $U_{a0} = 250$ *в*.

При этом напряжение на контуре окажется равным

$$U_{ma2} = \xi \cdot U_{a0} = 0{,}95 \cdot 250 = 225 \text{ в},$$

что больше требуемого. Следовательно, выбранное анодное напряжение удовлетворяет обоим требованиям.

Далее, определяем ток второй гармоники:

$$I_{a2} = \frac{2P_2}{U_{ma2}} = \frac{12}{225} = 0{,}054 \text{ а (54 ма)};$$

величину импульса анодного тока:

$$I_m = 3{,}6 I_{a2} = 0{,}194 \text{ а (194 ма), что меньше чем } 0{,}8 I_e;$$

постоянную составляющую анодного тока.

$$I_{a0} = 0{,}22 I_m = 0{,}22 \cdot 0{,}194 = 0{,}043 \text{ а (43 ма)};$$

подводимую мощность

$$P_0 = I_{a0} \cdot U_{a0} = 0{,}043 \cdot 250 = 10{,}8 \text{ вт};$$

мощность, рассеиваемую на аноде

$$P_a = P_0 - P_2 = 10{,}8 - 6 = 4{,}8 \text{ вт},$$

что значительно меньше допустимой величины.

К. п. д. анодной цепи

$$\eta = \frac{P_2}{P_0} = \frac{6}{10{,}8} = 55\%.$$

Колебательный контур должен иметь эквивалентное сопротивление

$$R_э = \frac{U_{ma2}}{I_{a2}} = \frac{225}{0,54} = 4\,200 \text{ ом}.$$

Требуемая величина возбуждающего напряжения

$$U_{mв} = \frac{2,4 I_m}{S} = \frac{2,4 \cdot 0,194}{0,006} = 78 \text{ в}.$$

Напряжение смещения

$$U_{c0} = U'_{c0} - 0,5 U_{mв} = -25 - 0,5 \cdot 78 = -64 \text{ в}.$$

Постоянная составляющая сеточного тока

$$I_{c0} = 0,1 I_{a0} = 0,1 \cdot 0,043 = 0,0043 \text{ а } (4,3 \text{ ма}).$$

Мощность, необходимая для возбуждения ступени

$$P_c = I_{c0} \cdot U_{mв} = 78 \cdot 0,0043 = 0,335 \text{ вт}.$$

Ток экранной сетки

$$I_{c_э0} = 0,25 I_{a0} = 0,25 \cdot 43 = 0,011 \text{ а } (11 \text{ ма}).$$

Величина сопротивления в катоде

$$R = \frac{U_{c0}}{I_{a0} + I_{c_э0} + I_{c0}} = \frac{64}{0,043 + 0,011 + 0,0043} = 1\,100 \text{ ом}.$$

Напряжение источника анодного тока должно быть равным

$$U_б = U_{a0} + U_{c0} = 250 + 64 = 314 \text{ в}.$$

ГЛАВА ЧЕТВЕРТАЯ

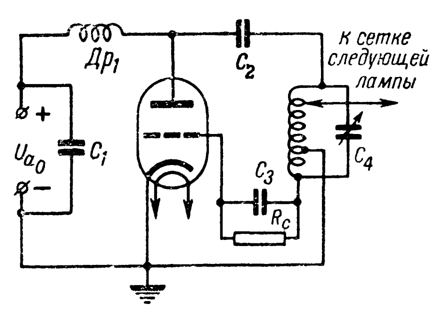
ВОЗБУДИТЕЛИ

Требование высокой стабильности частоты при одновременном условии возможности плавного изменения ее в пределах любительского диапазона значительно усложняет конструкцию задающего генератора и часто его проектирование перерастает в создание сложного возбудителя, имеющего от двух до четырех ступеней. Первой ступенью в таком возбудителе является маломощный задающий генератор, работающий на лампе приемного типа (6Ж7, 6SJ7, 6К7, 6С5,RV12-P-2000 и т. д.); вторая ступень служит для

устранения влияний последующих ступеней и, наконец, далее следуют ступени, работающие в режиме удвоения или утроения частоты. Выходная мощность подобного возбудителя составляет 2—4 *вт* и оказывается вполне достаточной для раскачки передатчика мощностью до 100 *вт*.

1. ЗАДАЮЩИЙ ГЕНЕРАТОР

Выбор схемы, выполнение и налаживание задающего генератора является очень ответственным этапом в конструировании любительского передатчика, так как от качества работы задающего генератора зависят основные качественные показатели передатчика: стабильность частоты, тон и часто даже качество телефонной передачи.



Фиг. 25. Схема задающего генератора.

На фиг. 25 представлена одна из возможных схем задающего генератора. Это обычный генератор с самовозбуждением, собранный по трехточечной схеме и связанный со следующей ступенью передатчика. Посмотрим, какие факторы оказывают влияние на стабильность частоты генерируемых им колебаний и какие меры следует принять для ее повышения.

Частота генерируемых колебаний определяется в основном параметрами колебательного контура схемы. Эта зависимость с учетом действия активного сопротивления контура выражается формулой

$$f=\frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{1}{LC}-\frac{R^2}{L^2}}, \qquad (71)$$

где L и C—индуктивность и емкость контура;
R—его полное активное сопротивление.

Параметры контура могут заметно изменяться под влиянием различных внешних воздействий, например температуры, влажности воздуха, атмосферного давления и т. д. Кроме того, к колебательному контуру подключается лампа

задающего генератора, а часто еще и лампа последующей ступени. Внутреннее и входное сопротивления и емкости ламп входят в состав контура и, изменяясь в процессе работы передатчика, также изменяют его параметры. Все эти непроизвольные изменения параметров контура вызывают уход частоты генерируемых колебаний от установленной первоначально, т. е. приводят к нестабильности частоты генератора.

Радиолюбителям практически приходится встречаться с несколькими различными видами нестабильности, а именно:

1) с первоначальным значительным изменением или так называемым «выбегом» частоты, происходящим в результате прогрева ламп и деталей передатчика после его включения;

2) с медленными изменениями частоты, которые вызываются непостоянством температуры воздуха в помещении и приводят к нарушению градуировки передатчика;

3) с довольно быстрым уходом частоты, происходящим за время одной передачи и вызываемым прогревом деталей контура задающего генератора токами высокой частоты;

4) с очень быстрым изменением частоты, происходящим при передаче одного элементарного сигнала (точки или тире), в результате которого передача становится нечеткой, хлопающей; этот вид нестабильности возникает при неудачном подборе режима работы лампы задающего генератора и последующей ступени и вызывается изменением питающих напряжений при манипуляции;

5) с плохим тоном, получающимся при недостаточной фильтрации питающих напряжений, частотной модуляции 50-периодным переменным током, происходящей в задающем генераторе вследствие различных нежелательных связей, возникающих при слишком близком расположении силовой установки, и, наконец, в результате появления в задающем генераторе паразитных колебаний.

Влияние температуры. Влияние температуры на частоту генерируемых колебаний объясняется изменениями параметров колебательного контура задающего генератора, происходящими при колебаниях температуры, вследствие изменения линейных размеров катушек, расстояний между пластинами конденсаторов и монтажными проводами, диэлектрических свойств изоляционных материалов и т. д.

Поэтому для получения высокой стабильности частоты в задающем генераторе следует применять детали, изготов-

ленные из материалов, имеющих малые температурные коэффициенты линейного расширения.

Изготовление катушки контура. В промышленном производстве контурные катушки для задающих генераторов часто изготовляют путем нанесения на керамический каркас специального проводящего слоя. Окружающая температура на индуктивность таких катушек влияет очень незначительно, и поэтому они могут быть рекомендованы для использования в любительских конструкциях как наилучшие.

В любительских условиях изготовить подобным способом катушку практически, конечно, невозможно. Поэтому коротковолновикам контурные катушки приходится выполнять несколько иначе.

Наилучшие результаты получаются при выполнении катушки на керамическом каркасе путем «горячей» намотки или намотки с сильным натяжением. При таком выполнении провод катушки находится на каркасе в сильно натянутом состоянии, и так как керамический каркас имеет очень небольшой температурный коэффициент линейного расширения, то при колебаниях температуры не происходит существенных изменений размеров катушки, а лишь меняется степень натяжения провода.

Горячая намотка производится медным проводом, нагретым до температуры около 100° С. Нагрев провода можно осуществить пропусканием через него тока от источника с низким напряжением (2—10 *в*, в зависимости от диаметра провода и его длины), например от накальной обмотки силового трансформатора или каким-либо другим путем.

Большое значение для получения высокой стабильности частоты имеет также и правильный выбор диаметра провода. Чтобы ослабить влияние температуры на индуктивность катушки, происходящее вследствие поверхностного эффекта, провод для ее изготовления необходимо применять либо тонкий, диаметром до 0,2 *мм*, либо, наоборот, большого диаметра — от 1 *мм* и больше.

Тонкий провод можно применять только в очень маломощных задающих генераторах, работающих на приемных лампах.

Наконец, для уменьшения влияний колебаний температуры на параметры катушки, происходящих вследствие изменения диаметра провода, ее следует наматывать с принудительным шагом, выбирая расстояние между витками равным 0,5—2 диаметра провода.

Выбор типов конденсаторов и соотношения емкостей. Температура сильно влияет также и на емкость контурного конденсатора. Поэтому правильный выбор типов конденсаторов для контура является необходимым условием для получения высокой стабильности частоты задающего генератора.

Ни в коем случае не следует ставить в контур задающего генератора обычные слюдяные и, тем более, бумажные конденсаторы, так как такие конденсаторы с изменением температуры очень сильно меняют свою емкость. Их температурный коэффициент емкости ТКЕ (ТКЕ показывает, во сколько раз изменяется емкость конденсатора при изменении его температуры на 1° С) равен $+400 \cdot 10^{-6}$. Кроме того, они не обладают цикличностью, т. е. если измерить емкость конденсатора при определенной температуре, а затем температуру изменить, то после того как температура вновь станет исходной, емкость конденсатора уже не окажется первоначальной. Поэтому при таких конденсаторах невозможно будет иметь точную градуировку шкалы и, кроме того, частота генерируемых колебаний в процессе работы будет все время изменяться.

Единственными из слюдяных конденсаторов, которые можно применять в контуре задающего генератора, являются конденсаторы типа «стабиль» или КСО (конденсаторы слюдяные опрессованные). Они обладают цикличностью и имеют сравнительно небольшой температурный коэффициент емкости. Их средний ТКЕ равен $+80 \cdot 10^{-6}$.

Наилучшие результаты получаются при применении воздушных конденсаторов. Однако размеры воздушных конденсаторов очень велики, что значительно затрудняет их использование.

Очень хорошие результаты получаются при использовании в контуре керамических конденсаторов, отличающихся высокой стабильностью основных своих величин и обладающих сравнительно малыми потерями.

Керамические конденсаторы изготовляются в виде трубочек (тип КТК) или небольших дисков (тип КДК) и выпускаются в основном двух видов: высокостабильные из тиглина, из которых составляют обычно основную емкость контура, и компенсирующие из тиконда (тикондовые), имеющие большой отрицательный ТКЕ. В зависимости от величины температурного коэффициента керамические конденсаторы окрашиваются в тот или иной цвет. Так, тикондовые

конденсаторы имеют оранжевую окраску. Их ТКЕ равен —$500 \cdot 10^{-6}$. Конденсаторы, окрашенные в серый цвет, имеют нулевой ТКЕ, синие — $+80 \cdot 10^{-6}$ и, наконец, ТКЕ голубых равен — $(20 \div 40) \cdot 10^{-6}$. Таким образом, для использования в контуре задающего генератора наилучшими являются серые и голубые конденсаторы. При применении конденсаторов серого цвета параллельно контуру полезно включить небольшой емкости компенсирующий тикондовый конденсатор (15—20 *мкмкф*) для компенсации температурных изменений индуктивности катушки. Точно величина его емкости подбирается практически. В случае применения конденсаторов синего цвета емкость тикондового конденсатора следует увеличить до 20—40 *мкмкф*. Точный подбор его емкости и в этом случае производится практически, в зависимости от общей емкости контура.

При использовании конденсаторов западноевропейских фирм следует иметь в виду, что тикондовые конденсаторы этих фирм окрашены в фисташковый цвет (светлозеленый) и имеют ТКЕ равный — $700 \cdot 10^{-6}$, серые и темнозеленые — небольшой положительный, оранжевые — около —$500 \cdot 10^{-6}$. При применении в контуре конденсатора темнозеленого цвета параллельно к нему следует подключить конденсатор, выкрашенный в фисташковый цвет, емкостью, примерно, 10—12% от емкости первого конденсатора.

Тикондовые конденсаторы небольшой емкости (15—20 *мкмкф*) следует включить для компенсации всех температурных изменений колебательного контура, даже и в тех случаях, если в контуре применяются только воздушные конденсаторы.

Влияние питающих напряжений. Режим работы. Очень большое значение для получения высокой стабильности частоты задающего генератора имеет правильный выбор режима его работы; объясняется это тем, что в случае неудачного выбора режима при малейших изменениях питающих напряжений сильно изменяются входная и выходная емкости ламп задающего генератора, которые входят в состав контура, и ее входное и внутреннее сопротивления, шунтирующие контур (фиг. 25). Особенно резко влияет на частоту генератора изменение сеточных токов.

Так как сеточные токи лампы достигают наибольшей величины и резко изменяются при работе генератора в перенапряженном режиме, для получения высокой стабильности частоты режим работы задающего генератора необходимо

устанавливать недонапряженным. Кроме того, для ограничения величины сеточных токов обычно увеличивают сопротивление утечки сетки R_c. Но так как с увеличением R_c заметно снижается мощность генерируемых колебаний, то его величину обычно выбирают не слишком большой, примерно в пределах 30 000—60 000 *ом*. Однако, если получение высокой стабильности частоты является основным требованием, сопротивление утечки сетки следует увеличить до 150 000—500 000 *ом*.

Наконец, для повышения стабильности частоты необходимо стабилизировать анодное и экранное напряжения, подводимые к лампе задающего генератора.

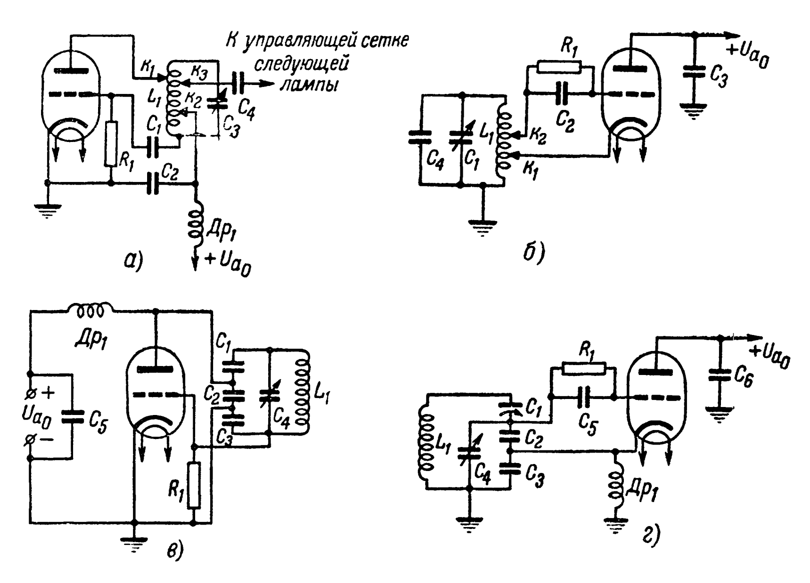
Из сказанного становится понятным, почему задающие генераторы приходится делать маломощными. Чем меньшей мощности генератор, тем слабее становятся токи сетки, контурные токи высокой частоты, прогревающие детали контура, меньше разогреваются лампа и другие детали схемы.

Выбор емкости контура и степени связи его с лампой. Уменьшить влияние лампы на контур и, таким образом, ослабить зависимость частоты генерируемых колебаний от величины напряжений источников питания можно путем увеличения емкости контура или ослаблением его связи с лампой. Практически, очень часто применяется одновременно и то, и другое.

На фиг. 26 приведены различные схемы задающих генераторов, в которых ослабление связи достигается неполным включением контура в схему. В схемах с кондуктивной связью (фиг. 26,*а* и 26,*б*) наивыгоднейшая связь подбирается посредством перестановки щупов K_1 и K_2 по катушке контура. Чем меньшая часть катушки оказывается включенной, тем слабее получается связь и, следовательно, выше стабильность частоты генерируемых колебаний. Общая емкость контура в этих схемах при работе задающего генератора на частотах 0,8—3,6 *мггц* выбирается обычно равной 300—500 *мкмкф*.

В схемах с емкостной связью (фиг. 26,*в* и 26,*г*) необходимая величина связи устанавливается путем соответствующего подбора емкостей контура C_1, C_2 и C_3. Чем меньше емкость конденсатора C_1, тем слабее получается связь. Иногда в качестве конденсатора C_1 используется переменный конденсатор небольшой емкости (фиг. 26,*г*). Изменяя емкость этого конденсатора, можно плавно изменять степень связи, благодаря чему легко удается подобрать наи-

выгоднейшую связь контура с лампой. Следует отметить одну особенность данной схемы. Вследствие того что емкость конденсатора C_1 выбирается сравнительно малой (30—50 *мкмкф*), небольшой получается и общая емкость контура; поэтому индуктивность катушки здесь приходится брать в несколько раз большей, чем в обычных схемах. Увеличение индуктивности и уменьшение емкости контура



Фиг. 26. Схемы задающих генераторов.

приводят к повышению его добротности и, тем самым, способствуют улучшению стабильности частоты генерируемых колебаний. Перестройка генератора на различные частоты в пределах любительского диапазона в этих схемах производится изменением емкости конденсатора C_4.

Как уже указывалось выше, к контуру задающего генератора, кроме его лампы, подключается еще и лампа следующей ступени (фиг. 25 и 26,*а*) и изменение режима ее работы также влияет на частоту генерируемых колебаний. Следовательно, чтобы уменьшить реакцию этой лампы, ступень, следующую за задающим генератором, необходимо поставить в недонапряженный режим и по возможности уменьшить связь лампы с контуром.

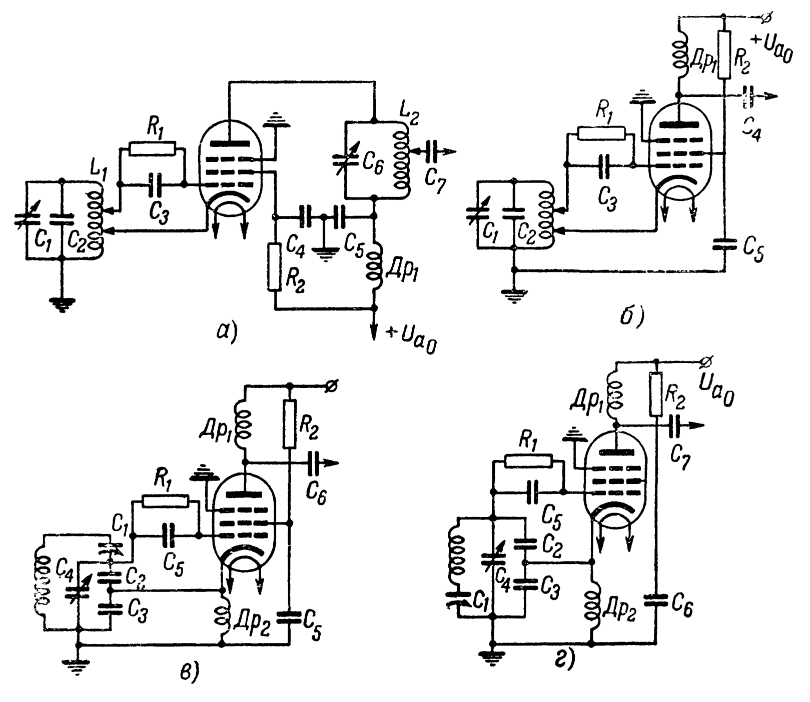
Влияние механических деформаций. Большое значение для получения высокой стабильности частоты имеет также и качество выполнения самого задающего генератора. Непрочная конструкция катушки контура, шасси, недостаточно жесткий монтаж ступени, случайные или так называемые блуждающие контакты, которые могут получиться, например, в результате соприкосновения оси одного из органов управления, находящегося на шасси задающего генератора, к панели — все это будет являться причиной неустойчивой работы генератора и приводить к дрожанию тона, скачкообразным изменениям частоты и т. д. Задающий генератор должен отличаться прочной конструкцией отдельных деталей схемы и всей ступени в целом.

Схемы с электронной связью. Схемы с электронной связью нашли широкое распространение в задающих генераторах любительских и промышленных коротковолновых передатчиков. В этих схемах удачно решается вопрос ослабления влияния последующей ступени на частоту генерируемых колебаний, а также имеется возможность значительно повысить мощность задающего генератора, имея в то же время достаточно высокую стабильность генерируемой частоты.

Одна из наиболее часто применяемых схем генераторов с электронной связью приведена на фиг. 27,*а*. Она содержит электронную лампу — тетрод или пентод и два колебательных контура: сеточный, или внутренний $C_1C_2L_1$, и анодный, или внешний, контур C_6L_2. Внутренний контур участвует в самовозбуждении генератора и своими параметрами определяет частоту генерируемых колебаний. Внешний контур включен в анодную цепь лампы и связан с остальной частью схемы общим электронным потоком. Поэтому схема и носит название схемы с электронной связью.

Мощность, выделяемая в анодном контуре, значительно превышает мощность, выделяемую в сеточном контуре, поэтому по отношению к последнему он как бы является усилителем мощности. Если внешний контур настроить на частоту вдвое бо́льшую, чем внутренний, то в схеме получится удвоение частоты, втрое — утроение, и т. д. Таким образом, генератор, собранный по схеме с электронной связью, по своей конструкции, а также и по качественным показателям подобен генератору, имеющему две ступени — задающий генератор и усилитель мощности или умножитель частоты.

Возбуждение колебаний в схеме, приведенной на фиг. 27,*а*, происходит так же, как и в обычном генераторе, собранном по трехточечной схеме, с той лишь разницей, что здесь ток экранной сетки, проходя, как и анодный, через часть витков катушки внутреннего контура, участвует в процессе самовозбуждения. Но так как переменная составляющая экранного тока во много раз меньше такой же



Фиг. 27. Схемы с электронной связью.

составляющей анодного тока, основную роль в процессе самовозбуждения играет не экранный, а анодный ток лампы.

Переменная составляющая анодного тока, проходя через оба контура схемы, приводит к выделению в них колебательной мощности. При этом в случае работы внешней части схемы в режиме усиления полезная мощность генератора распределяется между контурами пропорционально их резонансным сопротивлениям. Для нас является желательным, чтобы основная часть мощности выделялась не во вну-

треннем контуре, а во внешнем. Поэтому контуры нужно выполнить так, чтобы резонансное сопротивление контура L_2C_6 было значительно больше, чем контура $L_1C_1C_2$. Желаемые результаты можно получить, взяв индуктивность внешнего контура значительно большей, а емкость — соответственно меньшей, чем индуктивность и емкость внутреннего контура; этого же можно достигнуть путем неполного включения внутреннего контура в схему. Практически, обычно применяются оба эти способа одновременно. Вместе с получением требуемого распределения мощностей этим достигается также и повышение стабильности частоты генерируемых колебаний. Чем слабее будет связь лампы с внутренним контуром, тем выше получится стабильность частоты. Поэтому эту связь необходимо брать минимальной, при которой еще получается устойчивая генерация и в анодном контуре выделяется требуемая мощность.

Чтобы возможно больше повысить стабильность частоты генерируемых колебаний, необходимо до минимума уменьшить всякие внешние связи между контурами. С этой целью следует хорошо экранировать контуры и разделить экраном анодные и сеточные цепи лампы.

Изменение настройки анодного контура влияет на режим работы генератора, а следовательно, и на генерируемую частоту. Для уменьшения этого влияния и повышения стабильности частоты режим работы генератора лучше устанавливать недонапряженный, мирясь с некоторой потерей мощности.

Получение недонапряженного режима достигается уменьшением возбуждающего напряжения на управляющей сетке лампы путем приближения точки присоединения цепи сетки к точке присоединения катода.

Схема с электронной связью очень часто применяется в задающих генераторах любительских передатчиков, так как ее применение дает возможность уменьшить количество ступеней. В этом случае для повышения стабильности частоты и уменьшения влияния настройки анодного контура последний настраивается на частоту в 2—3 раза более высокую (2-ю или 3-ю гармонику), чем сеточный. Мощность, снимаемая с анодного контура при применении ламп 6Ф6, 6V6, 6П3, П-50, оказывается вполне достаточной, чтобы «раскачать» выходную ступень 50—100-*вт* передатчика и, таким образом, передатчик может иметь всего две-три ступени, в зависимости от количества любительских диапазо-

нов, которые требуется перекрыть. Однако получение высоких качественных показателей от такого передатчика возможно лишь при очень тщательном его налаживании.

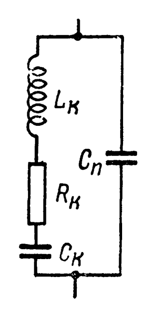
В более сложных передатчиках, в которых для повышения стабильности частоты генерируемых колебаний задающий генератор делается очень маломощным, схема с электронной связью применяется для ослабления влияния последующей ступени. В этом случае в анодную цепь лампы вместо контура включается дроссель или активное сопротивление, а связь между сеточным контуром и лампой выбирается настолько слабой, насколько это оказывается допустимым для получения устойчивых колебаний. Схема такого генератора изображена на фиг. 27,*б*. В схеме, приведенной на фиг. 27,*б*, требуемая величина связи устанавливается подбором точек присоединения катода и сетки, а в схеме, изображенной на фиг. 27,*в*, — путем изменения емкости конденсатора C_1. При использовании второй схемы благодаря повышенной добротности контура и более удобному способу подбора наивыгоднейшей связи практически удается получить более высокую стабильность частоты генерируемых колебаний, и поэтому в последнее время она получила более широкое распространение, чем первая. Чтобы при настройке конденсатора C_1 слабее сказывалось влияние руки, этот конденсатор часто переносят в нижнюю часть контура (фиг. 27,*г*) и его подвижную пластину заземляют. Для повышения стабильности частоты конденсатор C_1 лучше применить с воздушным диэлектриком.

2. КВАРЦЕВАЯ СТАБИЛИЗАЦИЯ ЧАСТОТЫ

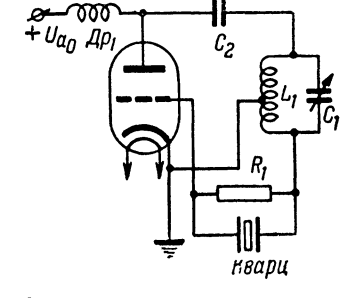
Для стабилизации частоты ламповых генераторов применяются пластинки, вырезанные особым способом из кристалла пьезокварца. Помещенные в специальный кварцедержатель, они в цепях токов высокой частоты проявляют себя аналогично колебательному контуру очень высокой добротности. Кварцевая пластинка по своим электрическим свойствам эквивалентна колебательному контуру, имеющему очень малую емкость $C_к$, относительно малое активное сопротивление $R_к$ и сравнительно большую индуктивность $L_к$. Эквивалентная схема кварца в кварцедержателе изображена на фиг. 28. Здесь $C_п$ — параллельная емкость кварцедержателя.

Существует два режима работы генератора с кварцевой стабилизацией — режим затягивания и осцилляторный режим.

Схема с затягиванием приведена на фиг. 29. В ней кварцевая пластинка, включенная вместо сеточного конденсатора, «затягивает» частоту колебаний генератора, не давая

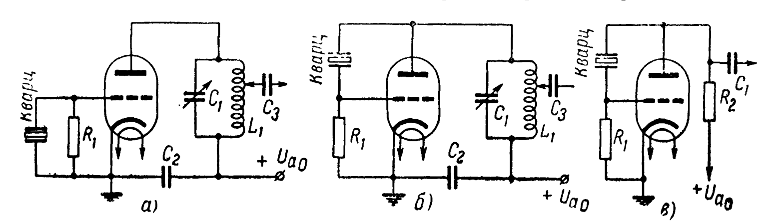


Фиг. 28. Эквивалентная схема кварца.



Фиг. 29. Схема с затягиванием.

ей изменяться в широких пределах. Однако при относительно больших расстройках действие кварца в этой схеме прекращается, и генератор генерирует частоту, на которую настроен колебательный контур. Хотя схемы с затягиванием дают и более высокую стабильность частоты, чем бескварцевые, все же получаемая с ними стабильность оказывается сравнительно невысокой, и поэтому они редко применяются.



Фиг. 30. Осцилляторные схемы.

Осцилляторные схемы дают более высокую стабильность частоты. Две основные осцилляторные схемы лампового генератора приведены на фиг. 30. В схеме, изображенной на фиг. 30,*а*, кварц включается между сеткой и катодом лампы. Благодаря наличию в лампе междуэлектродной емкости между анодом и сеткой часть переменной составляю-

щей анодного тока ответвляется в цепь сетки и возбуждает колебания в кварце. Процессы, происходящие в этой схеме, аналогичны процессам, происходящим в схеме генератора «настроенный анод — настроенная сетка».

Для генерации колебаний необходимо, чтобы анодный контур был настроен на частоту более высокую, чем резонансная частота кварцевой пластинки. Если настроить контур на частоту более низкую, колебания прекратятся.

При изменении настройки контура (например, увеличении емкости конденсатора C_1) по мере приближения ее к резонансной частоте кварца генерируемая частота будет оставаться почти неизменной и очень близкой к частоте кварца, а мощность генерируемых колебаний при этом возрастет. Наибольшей величины она достигнет при настройке контура очень близко к резонансной частоте кварца. При дальнейшем увеличении емкости конденсатора колебания сорвутся. Чем больше расстроен колебательный контур генератора, тем более стабильной оказывается частота генерируемых колебаний. Поэтому при желании получить возможно бо́льшую стабильность частоты вместо колебательного контура включают дроссель высокой частоты. Схема генератора при этом несколько упрощается.

Если анодный контур настроить на вторую гармонику кварца, то в схеме получится удвоение частоты.

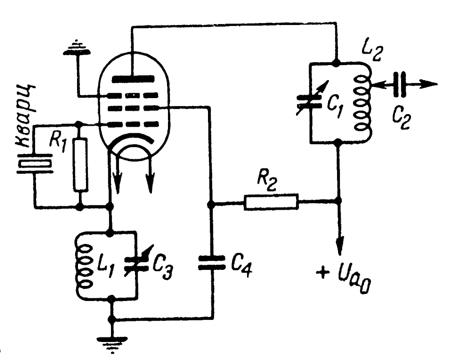
На фиг. 30,*б* изображен вариант осцилляторной схемы, в которой кварц включен между анодом и управляющей сеткой лампы. В этой схеме для генерации колебаний анодный контур L_1C_1 должен быть настроен на частоту более низкую, чем резонансная частота кварца, причем с приближением его настройки к этой частоте мощность генерируемых колебаний возрастает, с удалением — уменьшается. Как и в предыдущей схеме, с увеличением расстройки стабильность частоты генерируемых колебаний повышается.

Во второй схеме колебательный контур может быть заменен емкостью. В этом случае схема значительно упростится и примет вид, показанный на фиг. 30,*в*. В качестве нагрузки здесь используется выходная емкость лампы, а постоянное напряжение на ее анод подается через сопротивления R_2. Конечно, мощность, отдаваемая таким генератором, невелика.

Получить удвоение частоты в схемах, изображенных на фиг. 30,*б* и 30,*в*, невозможно.

Недостатком рассмотренных схем является то, что в них не удается получить большую колебательную мощность (не более 3—5 *вт*). С увеличением мощности резко понижается стабильность генерируемой частоты и повышается нагрузка на кварц, что может привести к его гибели. Особенно малой получается мощность при удвоении частоты (фиг. 30,*а*). Поэтому в любительских коротковолновых передатчиках чаще применяются кварцевые генераторы, собранные по схеме с электронной связью.

Одна из наиболее часто применяемых схем кварцевых генераторов с электронной связью изображена на фиг. 31. В этой схеме имеется два колебательных контура. Контур, включенный в цепь катода, настраивается на резонансную частоту кварца и участвует в самовозбуждении генератора. Контур, находящийся в анодной цепи, связан с остальной схемой через электронный поток внутри лампы и служит для выделения в нем основной колебательной мощности. При настройке анодного контура на резонансную частоту кварца в анодной цепи происходит усиление мощности генерируемых колебаний, а при настройке на одну из гармоник — умножение частоты.



Фиг. 31. Схема с электронной связью и кварцевой стабилизацией.

В схеме с электронной связью при достаточно высокой стабильности частоты удается получить мощность в анодном контуре до 30—50 *вт*.

3. БУФЕРНАЯ СТУПЕНЬ

Последующие ступени передатчика оказывают сильное воздействие на задающий генератор и, тем самым, значительно уменьшают стабильность генерируемой им частоты. Эти воздействия оказываются тем сильнее, чем более мощной является ступень, следующая за задающим генератором, и чем напряженнее режим ее работы. Как уже указывалось, для получения равномерной отдачи мощности по диапазону в промежуточных ступенях передатчика лучше всего

устанавливать перенапряженный режим. Но в этом режиме сеточные токи особенно велики и резко меняются с изменением режима работы лампы (например, при колебаниях напряжения источника анодного тока). Это изменяет входное сопротивление лампы и ее динамические емкости и, тем самым, сильно понижает стабильность частоты задающего генератора. С целью ослабления влияния последующих ступеней передатчика на стабильность частоты между задающим генератором и следующей ступенью включается буферная ступень.

Буферная ступень представляет собой генератор с независимым возбуждением, который работает в сильно недонапряженном режиме и с большим отрицательным смещением на управляющей сетке лампы, причем напряжение смещения выбирается таким, чтобы напряжение на сетке лампы во время работы оставалось все время отрицательным. При таком режиме лампа будет работать без сеточных токов и, следовательно, не будет нагружать задающий генератор.

В анодную цепь чаще всего включается ненастроенная нагрузка в виде активного сопротивления или дросселя высокой частоты. Если от буферной ступени необходимо получить несколько повышенную мощность, в анодную цепь лампы включается колебательный контур. Но в этом случае с целью повышения стабильности частоты ступень обязательно должна работать в режиме умножения частоты; чаще всего ее ставят в режим удвоения. Однако при проектировании буферной ступени всегда следует иметь в виду, что основная цель ее применения заключается не в усилении мощности, а в устранении влияния последующих ступеней.

В буферной ступени лучше всего применять пентоды, так как они хорошо работают при больших отрицательных напряжениях на управляющей сетке и имеют небольшую емкость между анодом и управляющей сеткой.

4. КРАТКИЕ ВЫВОДЫ И ПРАКТИЧЕСКАЯ СХЕМА

Таким образом, мы пришли к выводу, что для повышения стабильности частоты задающего генератора нужно принять ряд мер, сводящихся к следующему.

Прежде всего необходимо обратить серьезное внимание на качество изготовления колебательного контура. Контур должен иметь малые потери и обладать очень жесткой конструкцией. Катушку контура следует наматывать на кера-

мическом каркасе с принудительным шагом по способу горячей намотки либо с натяжением.

Начальная емкость контура, за исключением схемы с емкостной связью (фиг. 27,*в*), о которой говорилось ранее, должна быть сравнительно большой и равной 300—500 *мкмкф*.

Типы конденсаторов контура должны быть подобраны так, чтобы изменение температуры не оказало влияния на частоту генерируемых колебаний.

Связь контура с лампой необходимо устанавливать возможно меньшей.

Связь задающего генератора со следующей ступенью никогда не нужно делать большей, чем это требуется для получения достаточной раскачки лампы. Лучше, наоборот, подвести к следующей ступени меньшее напряжение и примириться с некоторой потерей мощности в ней, но зато получить более высокую стабильность частоты задающего генератора. В качестве лампы следующей ступени необходимо применять тетрод или пентод. Ступень должна работать в недонапряженном режиме. Лучше всего после задающего генератора поставить буферную ступень.

Для защиты от влияния внешних полей задающий генератор и буферную ступень необходимо хорошо экранировать и, кроме того, предусмотреть в схеме тщательную блокировку всех питающих цепей.

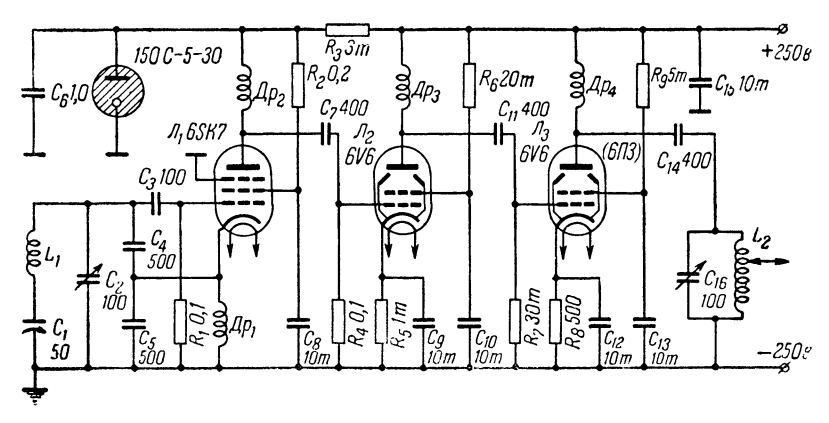
Задающий генератор целесообразно собирать по схеме последовательного питания, так как в схеме параллельного питания блокировочный дроссель, оказываясь подключенным параллельно контуру, может резко снизить стабильность генерируемой частоты.

Питать задающий генератор и буферную ступень лучше всего от отдельного выпрямителя, имеющего хороший двухзвенный фильтр и, кроме того, необходимо стабилизировать напряжения на аноде и экранной сетке лампы задающего генератора с помощью стабиловольта. Желательно также стабилизировать и цепи накала, включив для этой цели бареттер.

Практическая схема возбудителя для любительского коротковолнового передатчика I и II категорий приведена на фиг. 32. Возбудитель имеет три ступени: задающий генератор, работающий на лампе 6SK7, 6К7, 6SJ7 и генерирующий колебания в диапазоне частот от 1,75 до 1,8 *мггц*, буферную ступень, работающую на лампе 6V6 (6Ф6), и удвои-

тель частоты — на лампе 6V6 (6П3). Выходная мощность возбудителя составляет 3—5 *вт* на частотах 3,5—3,6 *мггц*.

Контурная катушка задающего генератора наматывается в один ряд с небольшим шагом на керамическом каркасе диаметром 20 *мм* и имеет 140 витков провода ПЭ 0,15 — 0,2 *мм*. Длина намотки 42—45 *мм*. Дроссели $Др_1$, $Др_2$, $Др_3$



Фиг. 32. Схема возбудителя.

и $Др_4$ состоят из нескольких отдельных секций, расположенных на расстоянии 3 *мм* друг от друга. Секции наматываются проводом ПЭШО 0,2, намотка типа «универсаль» или «внавал».

Данные дросселей следующие:

Дроссель	Внутренний диаметр, *мм*	Наружный диаметр, *мм*	Ширина секции, *мм*	Число секций
$Др_1$	10	25	4	2
$Др_2$	10	24	3	4
$Др_3$	8	22	3	5
$Др_4$	8	20	3	4

Дроссели $Др_2$ и $Др_3$ должны иметь неодинаковую индуктивность; при одинаковых дросселях возможно самовозбуждение буферной ступени. Дроссель большей индуктивности желательно включать в анодную цепь лампы $Л_2$,

Катушка контура удвоителя наматывается в один ряд на каркасе диаметром 35 *мм* и имеет 30 витков провода диаметром 0,6 *мм*. Длина намотки 30 *мм*.

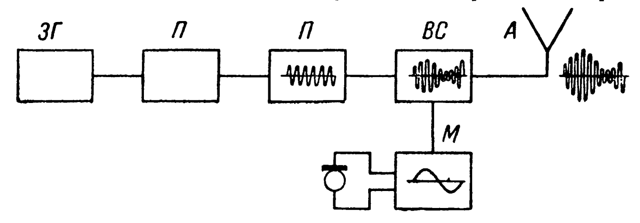
Налаживание возбудителя сводится к установке конденсатора C_1 в положение, при котором задающий генератор устойчиво генерирует, и точному подбору индуктивности катушки L_1 с целью получения нужного диапазона.

ГЛАВА ПЯТАЯ

УПРАВЛЕНИЕ КОЛЕБАНИЯМИ ВЫСОКОЙ ЧАСТОТЫ

1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О МОДУЛЯЦИИ

Модуляцией называется процесс управления колебаниями высокой частоты в передатчике в соответствии с колебаниями звуковой частоты. Радиолюбителями-коротковолновиками для осуществления телефонной передачи применяется так называемая амплитудная модуляция, при которой в соответствии с колебаниями звуковой частоты изменяется амплитуда колебаний высокой частоты (например, изменение амплитуды тока высокой частоты в цепи антенны).



Фиг. 33. Блок-схема любительского телефонного коротковолнового передатчика.

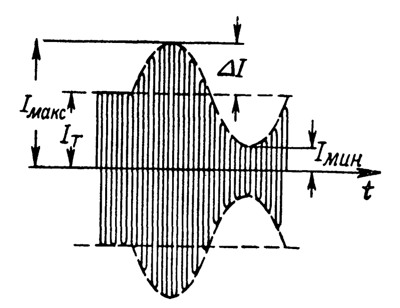
ЗГ — задающий генератор; *П* — промежуточные ступени; *ВС* — выходная ступень; *М* — модулирующее устройство (модулятор).

На фиг. 33 изображена блок-схема любительского коротковолнового телефонного передатчика.

Модулятор представляет собой обыкновенный усилитель низкой частоты, в котором электрические колебания звуковой частоты, возникающие в микрофонной цепи, усиливаются до требуемого напряжения и мощности. К выходной ступени передатчика подводятся одновременно два переменных напряжения — напряжение высокой частоты от предо-

конечной ступени и напряжение звуковой частоты от модулятора. В результате одновременного воздействия этих напряжений на лампу генератора импульсы анодного тока, а следовательно, и амплитуда первой гармоники анодного тока и тока высокой частоты в антенной цепи при разговоре перед микрофоном будут изменяться в соответствии с колебаниями звуковой частоты и имеют вид, показанный на фиг. 33 и 34.

Для того чтобы передача была свободной от искажений, необходимо, чтобы изменение амплитуды модулированного тока высокой частоты или, иначе, форма огибающей кривой (фиг. 34, пунктирная линия) возможно точнее воспроизводила форму колебаний звуковой частоты.



Фиг. 34. Изменения тока в контуре в процессе модуляции.

При отсутствии звука перед микрофоном модулирующее напряжение окажется равным нулю и, следовательно, модуляции колебаний высокой частоты в этом случае производиться не будет. Колебания высокой частоты, излучаемые передающим устройством при отсутствии модуляции, называются колебаниями несущей частоты или просто несущей частотой.

Звуковые колебания, вызывающие изменение амплитуды несущей частоты, носят название модулирующих колебаний.

Коэффициент модуляции. Чем громче будет произнесен звук перед микрофоном, тем большей окажется величина модулирующего напряжения и тем сильнее будет изменяться амплитуда колебаний высокой частоты. Степень изменения амплитуды колебаний высокой частоты при модуляции принято называть глубиной модуляции, а отношение величины приращения амплитуды тока (или напряжения) при модуляции к току (или напряжению) несущей частоты — к о э ф ф и ц и е н т о м м о д у л я ц и и.

Коэффициент модуляции обозначается буквой m. Его величину можно подсчитать, пользуясь одной из следующих формул:

$$m = \frac{\Delta I}{I_т}; \quad m = \frac{I_{макс} - I_{мин}}{2I_т}; \quad m = \frac{I_{макс} - I_{мин}}{I_{макс} + I_{мин}}, \qquad (72)$$

где ΔI — приращение тока при модуляции;

$I_т$ — величина тока несущей;

$I_{макс}$ — максимальная величина амплитуды тока высокой частоты при модуляции;

$I_{мин}$ — минимальная величина амплитуды тока высокой частоты при модуляции.

Часто коэффициент модуляции выражают в процентах. В этом случае

$$m = \frac{\Delta I}{I_т} \cdot 100\%. \tag{73}$$

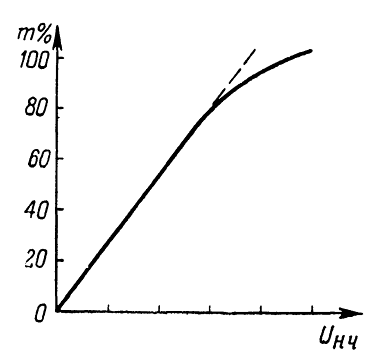
Чем глубже модуляция, тем громче и дальше слышен телефонный передатчик. Поэтому глубину модуляции всегда стремятся сделать возможно большей. Однако бесконечно углублять ее нельзя, так как с увеличением m и приближением его к 100% в форме огибающей кривой могут появиться искажения, и нарушится симметричность изменения амплитуды токов высокой частоты. В результате передача станет неразборчивой, будет сопровождаться хрипами, дребезжанием, т. е. окажется искаженной. Эти искажения, возникающие вследствие нелинейности характеристики лампы, носят название нелинейных искажений. Особенно большими становятся нелинейные искажения при перемодуляции, когда коэффициент модуляции превышает 100%.

В хорошо налаженном передатчике при очень небольших (практически незаметных на слух) нелинейных искажениях удается получить модуляцию глубиной до 90—95 и даже 100%.

Модуляционная характеристика. Выше было установлено, что передача получается неискаженной лишь в том случае, если форма огибающей кривой модулированного колебания точно соответствует форме модулирующих колебаний звуковой частоты. Практически это условие выполняется, когда коэффициент модуляции m изменяется пропорционально амплитуде модулирующего напряжения, т. е. когда между ними существует линейная зависимость. Таким образом, для того чтобы судить о степени вносимых передатчиком нелинейных искажений, необходимо знать зависимость коэффициента модуляции m от амплитуды напряжения звуковой частоты $U_{н.ч}$. Кривая (фиг. 35), графически выражающая подобную зависимость, носит название динамической модуляционной характеристики. Приведенная

на фиг. 35 характеристика показывает, что коэффициент модуляции в данном передающем устройстве пропорционален модулирующему напряжению только до 80—85%, т. е. здесь неискаженная передача получается лишь до тех пор, пока глубина модуляции не превышает 80—85%. При дальнейшем увеличении модулирующего напряжения линейность зависимости m от $U_{н.ч}$ нарушается, в результате чего возникают нелинейные искажения.

Частотная характеристика. Телефонная передача может сопровождаться не только нелинейными, но также и частотными искажениями. При частотных искажениях пере-



Фиг. 35. Модуляционная характеристика.

Фиг. 36. Частотная характеристика

дача становится неприятной и неестественной: неразборчивой и бубнящей в случае отсутствия высоких звуковых частот или резкой, с выкриками — при отсутствии наиболее низких частот. Для правильного воспроизведения необходимо, чтобы все частоты звукового спектра передавались одинаково, т. е. при одинаковой величине модулирующего напряжения создавали один и тот же коэффициент модуляции.

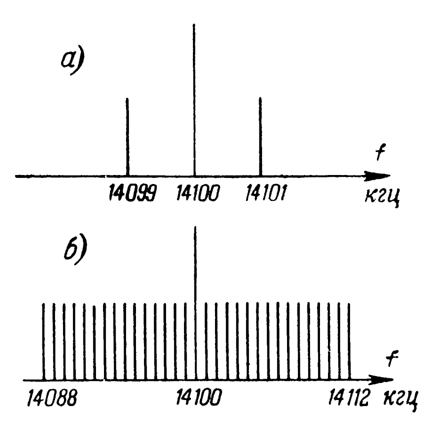
Обычно с целью определения степени вносимых передатчиком частотных искажений с него снимают частотную характеристику.

Частотной характеристикой телефонного передатчика называется кривая (фиг. 36), графически показывающая зависимость коэффициента модуляции от частоты модулирующего напряжения.

Если частотная характеристика прямолинейна (линия a, фиг. 36), то это значит, что все частоты создают одинако-

вый коэффициент модуляции и частотные искажения отсутствуют. Отступление характеристики от прямой линии говорит о том, что не все частоты передаются одинаково. Так, в случае завала характеристики, как показано на кривой *гдв*, коэффициент модуляции уменьшается, когда модулируюшая частота превышает 3 000 *гц*. Это говорит о том, что при передаче происходит ослабление высоких звуковых частот. В случае кривой *бга* происходит ослабление низких частот.

При налаживании передатчика нет необходимости добиваться того, чтобы он одинаково пропускал все слышимые частоты звукового спектра (от 20 и до 16 000 *гц*); практически вполне удовлетворительное качество передачи получается при полосе частот в несколько раз меньшей. Часто, наоборот, специально сужают пропускаемую передатчиком полосу, так как передатчик с широкой полосой пропускания занимает много места в диапазоне, создавая большие помехи соседним с ним по частоте радиостанциям и, кроме того, несколько понижается его слышимость и ухудшаются условия приема. Объясняется это тем, что при модуляции передатчик излучает уже не одну несущую частоту, а еще ряд так называемых боковых частот. Так, например, если несущая частота равна 14 100 *кгц*, а частота модуляции — 1 000 *гц*, то передатчик излучает три частоты — несущую (14 100 *кгц*) и две боковые, расположенные по обе стороны от несущей и отличающиеся от нее на 1 000 *гц* (фиг. 37,*а*), т. е. он становится эквивалентным трем передатчикам, работающим на разных частотах. Очевидно, что при этом часть излучаемой энергии распределяется между боковыми частотами. В случае передачи речи или музыки модуляция производится не одной частотой, а рядом частот, лежащих в пределах, примерно, от 50 до 12 000 *гц*. Следовательно, в этом случае передатчик будет излучать уже не три частоты, а це-



Фиг. 37. Спектр частот телефонного передатчика.

лый спектр высоких частот, лежащих в полосе от 14 088 до 14 112 *кгц* (фиг. 37,*б*), т. е. займет в диапазоне полосу в 24 *кгц* и, таким образом, будет создавать помехи соседним по частоте радиостанциям на расстоянии до ± 12 *кгц* по обе стороны от несущей.

Экспериментально установлено, что для получения вполне удовлетворительного качества передачи речи достаточно пропустить лишь частоты, лежащие в пределах от 250—300 до 2 500—3 000 *гц*. При этом передатчик будет занимать в диапазоне полосу уже не в 24 *кгц*, а только в 6 *кгц*, благодаря чему значительно уменьшаются создаваемые им помехи.

Указанную выше полосу частот можно рекомендовать для всех любительских передатчиков. Ограничение полосы производится обычно в модулирующем устройстве. Для клубных передатчиков, передающих иногда и музыкальные передачи, целесообразно предусмотреть в модуляторе возможность плавного или скачкообразного расширения полосы звуковых частот до пределов, примерно, 50—5 000 *гц*.

Таким образом, частотная характеристика любительского телефонного передатчика должна иметь вид, подобный характеристике, изображенной на фиг. 36 (кривая *бгдв*).

Мощность телефонного передатчика. В соответствии с изменением при модуляции амплитуды тока высокой частоты в антенне изменяется и мощность колебаний, излучаемых передающим устройством. При отсутствии модуляции, когда передатчик работает в телефонном режиме, излучаемая мощность равна

$$P_{1т} = \frac{I_т \cdot R_A}{2}, \qquad (74)$$

где $P_{1т}$ — мощность в телефонном режиме (или режиме несущей);

R_A — активное сопротивление антенны.

В тот момент, когда амплитуда тока в антенне достигает наибольшей величины ($I_{макс}$), излучаемая мощность также будет максимальной.

Из фиг. 34 видно, что максимальная амплитуда тока в антенне равна

$$I_{макс} = I_т + \Delta I = I_т + mI_т = I_т (1 + m). \qquad (75)$$

Следовательно, максимальная мощность окажется равной

$$P_{макс}=\frac{I_{макс}^2\cdot R_A}{2}=\frac{[I_т\ (1+m)]^2\cdot R_A}{2}=\frac{I_т^2\cdot R_A}{2}(1+m)^2,$$

т. е.

$$P_{макс}=P_т\cdot(1+m)^2. \qquad (76)$$

При 100-процентной глубине модуляции, когда $m=1$, максимальная амплитуда тока в антенне будет

$$I_{макс}=I_т\ (1+1)=2I_т, \qquad (77)$$

т. е. в два раза больше, чем в телеграфном режиме, а мощность

$$P_{макс}=P_т\ (1+1)^2=4P_т \qquad (78)$$

— в четыре раза больше. Минимальная мощность в этом случае получается равной нулю.

Таким образом, мощность телефонного передатчика при модуляции все время меняется и становится вполне определенной величины лишь при отсутствии модуляции. Поэтому за мощность телефонного передатчика принимают мощность его в режиме несущей частоты. Однако так как во время работы генератор должен иметь возможность кратковременно отдавать мощность в $(1+m)^2$ раз бо́льшую, чем $P_т$ и, кроме того, слышимость телефонного передатчика в очень большой степени зависит не только от мощности, но и коэффициента модуляции, когда говорят о данных телефонного передатчика для полноты характеристики приводят не только его мощность в режиме несущей, но также указывают и коэффициент модуляции.

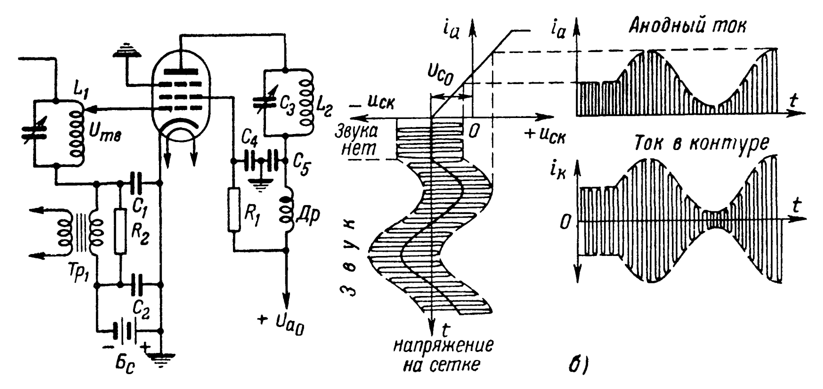
Схемы модуляции. В современных передатчиках модуляция осуществляется посредством воздействия напряжения звуковой частоты на один или одновременно несколько электродов лампы одной из ступеней передатчика. В зависимости от того, к какому электроду лампы подводится модулирующее напряжение, различают следующие схемы модуляции: модуляцию на управляющую сетку, экранную сетку, защитную сетку, на анод и, наконец, анодно-экранную модуляцию.

В любительских передатчиках модуляция большей частью производится в выходной ступени и, иногда, в предоконечной. В последнем случае выходная ступень работает в качестве усилителя модулированных колебаний.

2. СЕТОЧНАЯ МОДУЛЯЦИЯ СМЕЩЕНИЕМ

На фиг. 38,*а* приведена одна из схем сеточной модуляции смещением. К управляющей сетке лампы подводятся одновременно возбуждающее переменное напряжение высокой частоты, имеющее постоянную амплитуду $U_{mв}$, напряжение смещения U_{c0} от отдельного источника тока $Б_c$ и модулирующее напряжение $U_{н.ч}$, снимаемое со вторичной обмотки выходного трансформатора модулятора $Тр_1$ (модуляционного трансформатора).

При молчании перед микрофоном напряжение низкой частоты отсутствует и к управляющей сетке лампы оказываются приложенными только два напряжения: напряжение смещения U_{c0} и напряжение возбуждения $U_{mв}$. В этом случае анодный ток лампы представляет собой ряд импульсов, имеющих одинаковую высоту, а ток в контуре и в антенне — переменный ток высокой частоты, имеющий постоянную амплитуду.



Фиг. 38. Схема сеточной модуляции смещением.

Во время разговора перед микрофоном на вторичной обмотке модуляционного трансформатора появляется переменное напряжение звуковой частоты. Складываясь с напряжением батареи $Б_c$, это напряжение в соответствии с колебаниями звуковой частоты будет изменять напряжение смещения на управляющей сетке генераторной лампы. В результате этого начнет изменяться величина импульсов анодного тока лампы, а следовательно, и амплитуда тока высокой частоты в контуре и в антенне. На фиг. 38,*б* дано графическое пояснение процессов, происходящих при модуляции.

Следует отметить, что сеточная модуляция смещением возможна лишь при колебаниях второго рода, т. е. при работе с отсечкой анодного тока. В режиме колебаний первого рода сеточная модуляция принципиально невозможна.

Расчет модулируемого генератора. При проектировании телефонного передатчика обычно ставится задача получения от него заданной колебательной мощности в режиме несущей частоты $P_т$, определенного коэффициента модуляции m и минимальных искажений. В процессе расчета конструктору необходимо определить все остальные данные генератора, а именно: U_{c0}; $U_{m_з}$; P_c; η; I_{a0}; P_0; P_a и т. д., а также модулирующее напряжение $U_{н.ч}$ и мощность модулятора $P_м$.

Так как мощность, отдаваемая генератором, во время модуляции колеблется в пределах от

$$P_{макс} = P_т (1+m)^2$$

до

$$P_{мин} = P_т (1-m)^2, \tag{79}$$

то для получения всех требуемых величин расчет приходится производить для двух случаев: для режима несущей частоты и режима максимальной мощности. Режим $P_{мин}$ для расчета большого интереса не представляет, так как в нем мощность, отдаваемая генератором, очень мала, в связи с чем генератор работает в очень легких условиях.

Режим максимальной мощности. Исследования показали, что при сеточной модуляции смещением для получения линейной модуляции генератор в момент максимальной мощности должен работать в недонапряженном или, в крайнем случае, критическом режиме с импульсом анодного тока меньшим тока насыщения лампы.

Угол отсечки в режиме максимальной мощности выбирается в пределах до 120°.

В соответствии с требуемой $P_{1макс}$ производим выбор типа и количества ламп, а затем и полный расчет генератора, пользуясь формулами, приведенными в главе «Расчет выходной ступени на заданную мощность». Из расчета определяем $\xi_{макс}$, $I_{a1макс}$, $I_{a0макс}$, $P_{aмакс}$, $\eta_{макс}$, $R_в$, $U_{mв}$, $U_{c0макс}$. Обозначение „макс" показывает, что получен-

ные данные относятся к работе генератора в режиме максимальной мощности.

Режим несущей частоты. В режиме несущей частоты напряжение смещения на сетке лампы имеет бо́льшую величину, чем в режиме максимальной мощности. Соответственно уменьшаются токи, напряжение на контуре, мощность и к. п. д. Режим работы генератора становится сильно недонапряженным.

Все данные генератора, работающего в режиме несущей, можно получить, пользуясь следующими соотношениями:

Токи

$$I_{a1т} = \frac{I_{a1макс}}{1+m}; \tag{80}$$

$$I_{a0т} = \frac{I_{a0макс}}{1+m}. \tag{81}$$

Напряжение на контуре и коэффициент использования анодного напряжения:

$$U_{ma\,т} = \frac{U_{ma\,макс}}{1+m}; \tag{82}$$

$$\xi_т = \frac{\xi_{макс}}{1+m}. \tag{83}$$

Мощности

$$P_{1т} = \frac{P_{макс}}{(1+m)^2}; \tag{84}$$

$$P_{0т} = \frac{P_{0макс}}{1+m}; \ P_{a\,т} = P_{0т} - P_{1т}. \tag{85}$$

Коэффициент полезного действия

$$\eta_т = \frac{\eta_{макс}}{1+m}. \tag{86}$$

При 100-процентной модуляции ($m = 1$) получим:

$$P_{1т} = \frac{P_{макс}}{4}; \tag{87}$$

$$P_{0т} = \frac{P_{макс}}{2}; \tag{88}$$

$$\eta_т = \frac{\eta_{макс}}{2}. \tag{89}$$

Так как в телефонном режиме к. п. д. генератора низок, то мощность, рассеиваемая на аноде лампы, может оказаться большей, чем при работе его в режиме максимальной мощности. Поэтому при расчете необходимо проверить, не превышает ли в телефонном режиме мощность рассеяния на аноде допустимой величины.

Напряжение смещения $U_{c0т}$ определяется по следующим формулам при 100-процентной модуляции:

$$U_{c0т} = \frac{U_{c0макс} - U_{c0мин}}{2}, \tag{90}$$

где $U_{c0мин}$ — напряжение смещения, при котором $P_1 = 0$:

$$U_{c0мин} = U'_{c0} - U_{mв}. \tag{91}$$

Если коэффициент модуляции меньше 100%, то

$$U_{c0т} = \frac{U_{c0макс} - m \cdot U_{c0мин}}{2}. \tag{92}$$

Амплитуда модулирующего напряжения низкой частоты определяется как разность между напряжением смещения в режиме максимальной мощности и телефонном режиме, т. е.

$$U_{m\,н.\,ч} = U_{c0макс} - U_{c0т}. \tag{93}$$

Эффективное значение модулирующего напряжения, которое должен показывать вольтметр переменного тока, включенный на выходе модулятора, будет равно

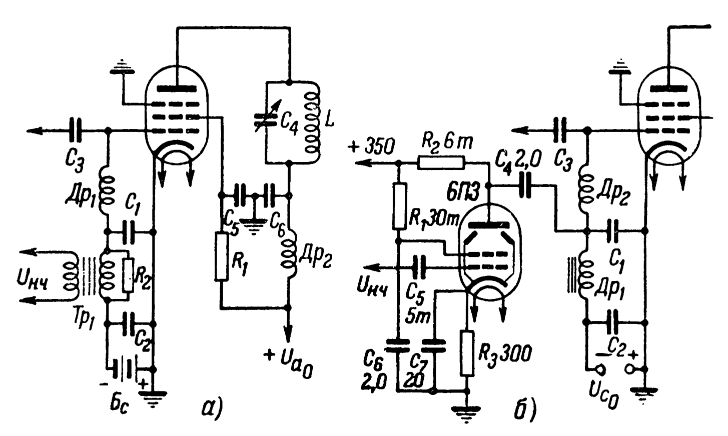
$$u_{н.\,ч.\,эф} = 0{,}707\, U_{m\,н.\,ч}. \tag{94}$$

Основные схемы модуляции смещением. На фиг. 39 приведены основные схемы сеточной модуляции смещением, применяемые в любительских коротковолновых передатчиках.

На фиг. 39,*а* изображена схема с трансформатором при параллельном питании сетки напряжениями высокой и низкой частоты. Напряжение возбуждения здесь подводится через конденсатор C_3, а напряжения смещения и звуковой частоты — через дроссель $Др_1$. Конденсатор C_1 блокирует цепи смещения и выход модулирующего устройства от проникновения в них токов высокой частоты. Его емкость выбирается обычно в пределах 500—1 000 *мкмкф*. Слишком

увеличивать емкость конденсатора C_1 не рекомендуется, так как он тогда будет заметно шунтировать вторичную обмотку выходного трансформатора, что приведет к срезанию высоких частот звукового спектра. Конденсатор C_2 служит для того, чтобы токи низкой частоты не заходили в цепь батареи смещения. Его емкость следует выбирать порядка 2—5 *мкф*.

По своей работе обе схемы (фиг. 38,*а* и 39,*а*) равноценны. Выбор той или иной схемы определяется в основном схемой предоконечной ступени (например, первую схему не-



Фиг. 39. Схемы сеточной модуляции.

возможно применить, если предоконечная ступень собрана по схеме последовательного питания), а также и конструктивными соображениями.

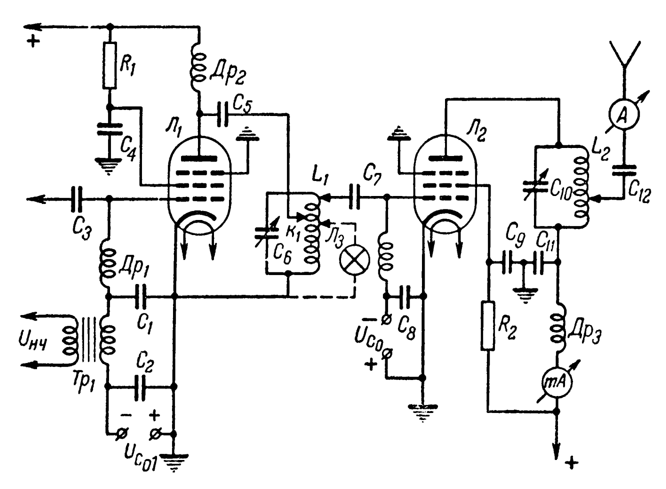
На фиг. 39 *б* приведена реостатно-дроссельная схема, предложенная А. Л. Минцем. В этой схеме выходная ступень модулятора собрана на сопротивлениях, и поэтому частотные искажения здесь получаются меньшими, чем в схеме с модуляционным трансформатором. В данной схеме $Др_1$ — обычный низкочастотный дроссель, R_2 — сопротивление нагрузки модулятора, C_4 — разделительный конденсатор. Назначение деталей C_1, C_2, C_3 и др. и их величины — такие же, как в предыдущих схемах.

В заключение следует отметить, что при модуляции смещением сеточные токи генераторной лампы, нагружающие модулятор, изменяясь нелинейно, с изменением U_{c0} вызывают в модуляторе нелинейные искажения. Поэтому, чтобы

эти искажения были небольшими, при данной схеме модуляции приходится применять сравнительно мощный модулятор и дополнительно нагружать его активным сопротивлением (фиг. 38,*а*, сопротивление R_2 и фиг. 39,*а* — R_2), потребляющим мощность в 2—3 раза бо́льшую, чем сеточная цепь передатчика. Так, для 100-*вт* передатчика мощность модулятора должна составлять 3—4 *вт*. Кроме того, выходная лампа модулятора должна иметь возможно меньшее внутреннее сопротивление. Практически, хорошие результаты получаются при использовании в выходной ступени модулятора лампы 6П3 (6Л6), особенно если ступень будет охвачена отрицательной обратной связью.

3. УСИЛЕНИЕ МОДУЛИРОВАННЫХ КОЛЕБАНИЙ

В целях упрощения модулирующего устройства в передатчиках иногда производят модуляцию в предоконечной ступени. Выходная ступень в этом случае работает в качестве усилителя модулированных колебаний.



Фиг. 40. Схема усиления модулированных колебаний.

Одна из подобных схем приведена на фиг. 40. Здесь модуляция в предоконечной ступени осуществляется по способу сеточной модуляции смещением, и уже модулированные колебания высокой частоты поступают на управляющую сетку лампы выходной ступени передатчика.

Режим усиления модулированных колебаний имеет ряд особенностей.

Исследования показали, что неискаженное усиление модулированных колебаний получается лишь в том случае, если генератор работает в недонапряженном режиме и с углом отсечки, равным или близким к 90°. Если лампа выходной ступени работает с углом отсечки меньшим чем 90°, то в ступени происходит углубление модуляции, причем углубление получается тем бо́льшим, чем меньше угол отсечки. Этим свойством схемы иногда пользуются для получения 100-процентной модуляции, когда глубина модуляции предоконечной ступени недостаточна. Однако значительно «углублять» модуляцию в выходной ступени не рекомендуется, так как это сопровождается заметными нелинейными искажениями.

Если угол отсечки выбрать больше 90°, то получается уменьшение глубины модуляции и возникают большие нелинейные искажения.

Расчет ступени, работающей в режиме максимальной мощности производится так же, как при сеточной модуляции смещением, но для угла отсечки, равного 90° (см. стр. 42), а в режиме несущей частоты — отличается лишь тем, что смещение на сетке U_{c0} остается таким же, как и в максимальном режиме, но уменьшается напряжение возбуждения с $U_{mв\,макс}$ до $U_{mв\,т}$.

$U_{mв\,т}$ может быть подсчитано по следующей формуле:

$$U_{mв\,т} = \frac{U_{mв\,макс}}{1+m}. \qquad (95)$$

Напряжение звуковой частоты, необходимое для модуляции, определяется при расчете предоконечной ступени.

Требуемый режим работы предоконечной ступени удобнее всего подобрать путем перестановки анодного щупа K_1, или дополнительно нагружая генератор, например лампочкой накаливания $Л_3$ (фиг. 40, пунктир). В последнем случае лампочка будет являться одновременно и индикаторной.

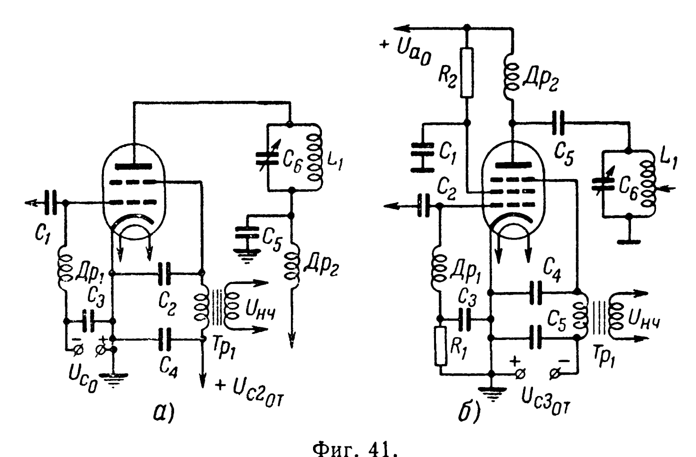
Смещение на управляющую сетку лампы выходной ступени должно быть подано от отдельного источника тока.

В заключение следует отметить, что эта схема более трудна в налаживании, чем все остальные схемы модуляции, и поэтому ее применение может быть рекомендовано только высококвалифицированным коротковолновикам.

4. МОДУЛЯЦИЯ НА ЭКРАННУЮ СЕТКУ

Модуляция на экранную сетку (фиг. 41,*а*) может быть применена, если в выходной ступени работает тетрод или пентод. При этом методе модуляции напряжение звуковой частоты от модулятора подводится к экранной сетке лампы совместно с постоянным напряжением питания. Линейная модуляция здесь, как и в предыдущих случаях, возможна лишь при работе генератора колебаниями второго рода и в недонапряженном режиме.

Следует отметить, что модуляция на экранную сетку по сравнению с разобранными ранее схемами модуляции не дает никаких преимуществ, а только обладает рядом суще-



Фиг. 41.

а — схема модуляции на экранную сетку; *б* — схема модуляции на защитную сетку.

ственных недостатков: при ней требуются относительно мощный модулятор, большие модулирующие напряжения и, кроме того, из-за необходимости шунтировать экранирующую сетку довольно большой емкостью (конденсатор C_2) для обеспечения на ней нулевого потенциала высокой частоты, ухудшением частотной характеристики (срезаются высокие звуковые частоты). Правда, последнее обстоятельство для любительских передатчиков, предназначенных только для передачи речи, большого значения не имеет.

В силу указанных выше причин схема модуляции на экранную сетку применяется сравнительно редко, и мы ее не рекомендуем использовать в любительских передатчиках.

5. МОДУЛЯЦИЯ НА ЗАЩИТНУЮ СЕТКУ

Схема выходной ступени передатчика с модуляцией на защитную сетку приведена на фиг. 41,*б*. В этой схеме для получения телефонного режима на защитную сетку лампы задается определенное отрицательное напряжение смещения $U_{c_3 0т}$. Кроме того, для осуществления модуляции сюда же со вторичной обмотки модуляционного трансформатора Tp_1 подводится напряжение звуковой частоты $U_{н.ч}$. С целью создания на защитной сетке нулевого потенциала высокой частоты эта сетка через конденсатор C_4 в 500—700 *мкмкф* соединяется с шасси. Во время разговора перед микрофоном на вторичной обмотке модуляционного трансформатора появляется переменное напряжение звуковой частоты, которое, складываясь с напряжением батареи $U_{c_3 0т}$, изменяет напряжение на защитной сетке в такт с колебаниями звуковой частоты. В результате изменяется высота импульсов анодного тока, а следовательно, и амплитуда тока высокой частоты в антенне.

Расчет генератора, работающего в режиме модуляции на защитную сетку, несложен. Вначале, как и в предыдущих случаях, следует рассчитать генератор на максимальную мощность $P_{1макс} = P_т (1 + m)^2$, а затем нужно определить требуемую для телефонного режима величину отрицательного смещения на защитной сетке $U_{c_3 0т}$:

$$U_{c_3 0т} = {}^1/_2 \left(U_{c_3 0макс} - \frac{U_{a0}}{\mu_{ac3}} \right), \qquad (96)$$

где $U_{c_3 0макс}$ — напряжение на защитной сетке в режиме максимальной мощности;

μ_{ac3} — коэффициент усиления лампы по защитной сетке. Он обычно приводится в таблице генераторных пентодов.

Модулирующее напряжение звуковой частоты определяется по формуле

$$U_{тн.ч} = U_{c_3 0макс} - U_{c_3 0г}. \qquad (97)$$

Мощность передатчика в телефонном режиме при этой схеме модуляции получается, примерно, такой же, как и при сеточной модуляции смещением. Однако модуляция на защитную сетку по сравнению с сеточной модуляцией смещением обладает рядом существенных преимуществ. Ввиду то-

го что напряжение на защитной сетке в процессе модуляции бо́льшую часть времени (или все время, если $U_{c_3 0 макс}$ равно нулю) остается отрицательным, цепь защитной сетки почти не потребляет мощности от модулятора. Это дает возможность значительно упростить модулирующее устройство и уменьшить его мощность.

Данная система модуляции обладает большей линейностью модуляционной характеристики, в результате чего уменьшаются нелинейные искажения. Практически при удачном подборе величин сопротивлений R_1 и R_2, включенных в цепях управляющей и экранной сеток, удается получить неискаженную передачу при модуляции глубиной до 90—95%.

Ток управляющей сетки во время модуляции почти не изменяется. Благодаря этому нагрузка на возбуждающую ступень остается все время практически неизменной и, следовательно, улучшаются условия работы ступени.

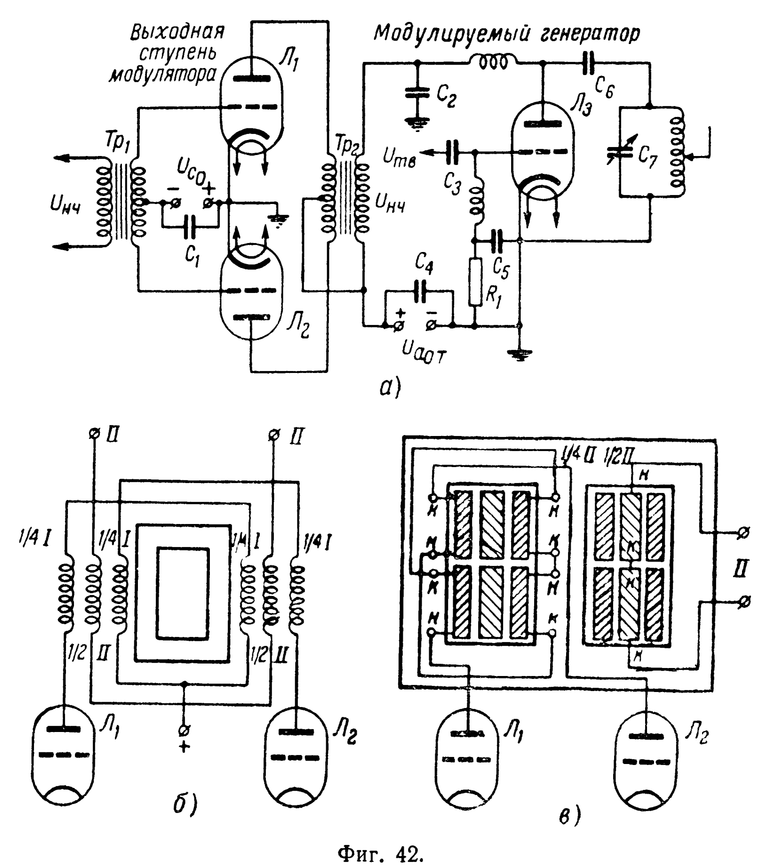
Из сказанного выше можно прийти к заключению, что схема модуляции на защитную сетку является наилучшей из всех схем сеточной модуляции. Поэтому ее можно рекомендовать для использования в любительских коротковолновых передатчиках.

6. МОДУЛЯЦИЯ НА АНОД

Схема выходной ступени передатчика с анодной модуляцией показана на фиг. 42,*а*. В этой схеме последовательно с источником анодного тока включена вторичная обмотка модуляционного трансформатора $Тр_2$, в результате чего при разговоре перед микрофоном напряжение на аноде генераторной лампы, равное сумме напряжения источника питания $U_{a0т}$ и напряжения звуковой частоты $U_{н.ч}$ на вторичной обмотке модуляционного трансформатора, изменяется в такт с колебаниями звуковой частоты.

В отличие от других схем модуляции при анодной модуляции режим работы генератора необходимо устанавливать перенапряженным и лишь в максимальной точке он становится критическим. Благодаря использованию перенапряженного режима генератор в этой схеме работает с достаточно высоким к. п. д. (примерно 70%), и поэтому передатчик с анодной модуляцией может иметь вдвое бо́льшую колебательную мощность, чем ту, которую он имеет при всех других схемах модуляции.

На фиг. 43 приведены графики, поясняющие работу генератора при модуляции. Из графиков видно, что при отсутствии модулирующего напряжения, когда генератор работает в режиме несущей частоты, анодное напряжение остается постоянным, равным $U_{a0т}$ (фиг. 43,*а*); постоянны-

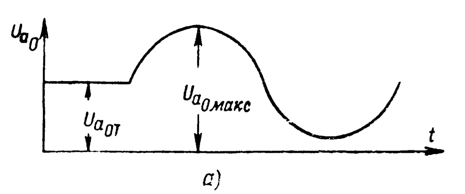


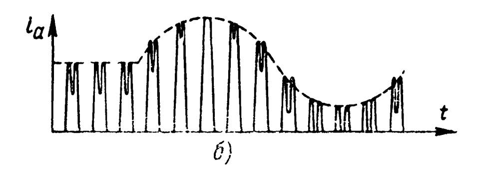
Фиг. 42.

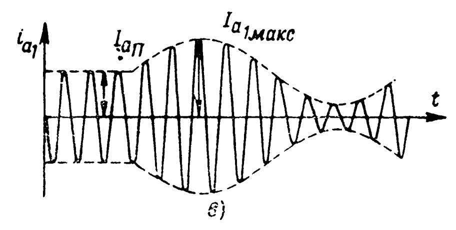
схема модуляции на анод; *б* и *в* — правильное расположение обмоток выходного трансформатора.

ми по величине и форме остаются также и импульсы анодного тока (фиг. 43,*б*). Во время положительной полуволны модулирующего напряжения анодное напряжение возрастает, в результате чего уменьшается степень перенапряженности режима, а следовательно, и глубина провала в им-

пульсе анодного тока. С уменьшением провала увеличиваются амплитуда первой гармоники анодного тока и амплитуда тока в антенне. Максимальной величины амплитуда тока первой гармоники достигает в тот момент, когда анодное напряжение оказывается равным $U_{a0.макс}$, а режим работы генератора — критическим. Затем, анодное напряжение начнет понижаться, и режим генератора вновь становится перенапряженным. Вследствие этого в импульсе тока опять появляется провал, уменьшающий первую гармонику. Вначале глубина провала получается небольшой, но по мере понижения анодного напряжения провал в импульсе углубляется и соответственно уменьшается амплитуда первой гармоники анодного тока.







Фиг. 43. График, поясняющий работу передатчика с анодной модуляцией.

В случае удачного выбора режима генераторной лампы изменение амплитуды первой гармоники анодного тока происходит пропорционально изменению анодного напряжения, и поэтому модуляционная характеристика получается прямолинейной вплоть до 100%-ной модуляции.

Использование перенапряженного режима в этой схеме приводит к заметному возрастанию сеточного тока и мощности, рассеиваемой на управляющей сетке. Поэтому в целях облегчения теплового режима цепи управляющей сетки, а также для выравнивания начала модуляционной характеристики рекомендуется применять автоматическое смещение за счет сеточного тока.

Расчет. Максимальный режим. Величину анодного напряжения в режиме несущей частоты $U_{a0т}$ при анодной

модуляции обычно устанавливают равной номинальной $U_{a0ном}$ для телеграфного режима. Однако некоторые лампы не могут выдержать двойного анодного напряжения, которое получается при пике модулирующего напряжения. Для таких ламп $U_{a0т}$ выбирается следующим образом:

$$U_{a0т} = (0{,}75 - 0{,}8)\, U_{a0ном}. \qquad (98)$$

В режиме максимальной мощности оно достигает величины

$$U_{a0макс} = U_{a0т}\ (1 + m). \qquad (99)$$

При 100%-ной модуляции ($m = 1$)

$$U_{a0макс} = 2U_{a0т}\,. \qquad (100)$$

При максимальном анодном напряжении генератор должен отдать мощность

$$P_{1макс} = P_{1т}\ (1 + m)^2.$$

Режим генератора в этот момент становится критическим или чуть-чуть перенапряженным.

По ранее приведенным формулам расчета ступени на заданную колебательную мощность производим расчет генератора в режиме максимальной мощности. При этом принимаем $\xi = 0{,}95$. Целью расчета является определение требуемого резонансного сопротивления контура $R_{э\,опт}$; напряжения возбуждения $U_{mв}$; смещения U_{c0} и сопротивления в цепи сетки R_c. Следует отметить, что полученная в результате этого расчета мощность рассеивания на аноде $P_{a\,макс}$ является мгновенной, и поэтому она может превышать допустимую величину, указанную в паспорте лампы.

В ряде случаев в режим анодной модуляции коротковолновикам приходится перестраивать уже имеющийся телеграфный передатчик, причем очень часто используемая в выходной ступени лампа не может обеспечить разрешенную для данной группы радиостанций телефонную мощность. В этом случае при расчете модулируемой ступени нужно сначала произвести расчет генератора на максимальную колебательную мощность, приняв $U_{a0макс} =$

$=(1,5-2)U_{a0ном}$, а затем уже определить мощность передатчика в телефонном режиме:

$$P_{1т}=\frac{P_{1макс}}{(1+m)^2}. \qquad (101)$$

Полученная в результате такого расчета телефонная мощность $P_{1т}$ будет являться максимальной для данного типа лампы.

Режим несущей частоты. В режиме несущей частоты анодное напряжение уменьшается на величину $1+m$ и оказывается равным

$$U_{a0т}=\frac{U_{a0макс}}{1+m}. \qquad (102)$$

Постоянная составляющая анодного тока соответственно равна

$$I_{a0т}=\frac{I_{a0макс}}{1+m} \qquad (103)$$

и мощности

$$P_{1т}=\frac{P_{1макс}}{(1+m)^2};\ P_{0т}=\frac{P_{0макс}}{(1+m)^2};\ P_{aт}=\frac{P_{a\ макс}}{(1+m)^2}. \qquad (104)$$

К. п. д. генератора в режиме несущей частоты остается, примерно, таким же, как и в режиме максимальной мощности.

Для проверки теплового режима генераторной лампы необходимо знать среднее значение мощности, рассеиваемой на аноде лампы при модуляции:

$$P_{a\ ср}=P_{aт}\left(1+\frac{m^2}{2}\right). \qquad (105)$$

Эта мощность, оказываясь при 100-процентной модуляции в 1,5 раза больше, чем $P_{aт}$ в режиме несущей частоты, определяет степень нагрева анода лампы, и поэтому она не должна превышать допустимой для данного типа лампы величины.

Далее, определяем амплитуду модулирующего напряжения:

$$U_{m\ н.\ ч}=mU_{a0т}; \qquad (106)$$

выходная мощность $P_м$, которую должен отдавать модулятор, подсчитывается по следующей формуле:

$$P_м = P_{0т} \cdot \frac{m^2}{2}. \qquad (107)$$

Эти формулы показывают, что для получения 100%-ной модуляции при анодной модуляции необходимо иметь сложное модулирующее устройство с выходной мощностью равной, примерно, 70% телефонной мощности передатчика и напряжением на выходе, равном напряжению источника анодного тока $U_{a0т}$.

Выходную ступень такого модулятора рекомендуется собирать по двухтактной схеме (фиг. 42) и ставить в режим работы класса B. Чтобы не строить для питания выходной ступени модулятора специальный мощный выпрямитель, целесообразно применять модуляторные лампы ($Л_1$ и $Л_2$), требующие анодного напряжения U_{a0}, равного напряжению $U_{a0т}$, и питать их от того же выпрямителя, от которого питается и выходная ступень передатчика.

Расчет выходной ступени модулятора производится так же, как и в случае обычного усилителя низкой частоты соответствующей мощности. При этом, учитывая потери в модуляционном трансформаторе, принимают

$$P_м = 1{,}1\ P_{0т} \cdot \frac{m^2}{2}, \qquad (108)$$

а сопротивление нагрузки модулятора $R_н$ — равным сопротивлению генератора постоянному току $R_г$:

$$R_н = R_г = \frac{U_{a0т}}{I_{a0т}}. \qquad (109)$$

Качество работы телефонного передатчика с анодной модуляцией сильно зависит от данных и конструкции модуляционного трансформатора, так как последний может явиться причиной значительных частотных и нелинейных искажений. Поэтому на изготовление модуляционного трансформатора нужно обратить серьезное внимание.

Прежде всего при расчете необходимо учитывать, что через вторичную обмотку модуляционного трансформатора протекают токи, питающие генератор. Постоянный ток $I_{a0т}$

намагничивает сталь и из-за этого приходится сильно увеличивать размеры сердечника трансформатора.

Нелинейные искажения возникают при несимметричной работе обеих половин первичной обмотки трансформатора, а также при слишком большой индуктивности рассеяния. Кроме того, индуктивность рассеяния приводит к понижению частотной характеристики на высоких звуковых частотах. Для уменьшения этих искажений трансформатор должен быть выполнен строго симметрично, причем обмотки необходимо расположить так, чтобы обеспечить малое рассеяние между всей вторичной обмоткой и каждой половиной первичной обмотки. Правильное расположение обмоток для различных типов сердечников показано на фиг. 42,*б* и 42,*в*.

При постройке передатчика с анодной модуляцией необходимо учитывать, что при пиках модулирующего напряжения анодное напряжение, подводимое к генераторной лампе, увеличивается вдвое по сравнению с напряжением источника тока $U_{a0т}$, а напряжение на контуре становится равным 4 $U_{a0т}$. Поэтому отдельные детали должны выдерживать двойное напряжение выпрямителя, а конденсатор и изоляция контура — учетверенное.

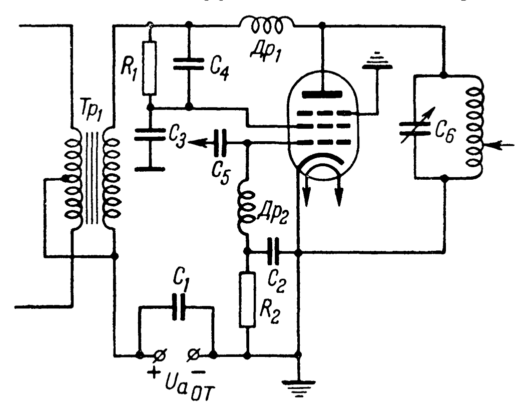
7. АНОДНО-ЭКРАННАЯ МОДУЛЯЦИЯ

Применение анодной модуляции принципиально возможно не только при использовании в модулируемой ступени триодов, но также при работе в ней тетродов и пентодов. Однако при тетродах получение глубокой анодной модуляции практически невозможно из-за динатронных явлений, возникающих в лампе при малых остаточных напряжениях на ее аноде. В пентодах динатронный эффект отсутствует, и поэтому они допускают очень глубокую анодную модуляцию вплоть до $m = 100\%$. Но при глубокой модуляции, вследствие резкого возрастания сеточных токов, создаются очень тяжелые тепловые условия работы экранной сетки лампы, которая иногда не выдерживает такой нагрузки, и лампа выходит из строя. В силу указанных причин в ступенях, работающих на тетродах и пентодах, обычно применяется не чисто анодная, а анодно-экранная модуляция.

При анодно-экранной модуляции одновременно с анодным напряжением изменяется и напряжение на экранной сетке, причем когда анодное напряжение становится минимальным, минимальным оказывается и напряжение на

экранной сетке. Поэтому здесь уже не происходит резкого увеличения экранного тока, и тепловой режим экранной сетки значительно облегчается.

Схема ступени с анодно-экранной модуляцией приведена на фиг. 44. В этой схеме экранирующая сетка лампы питается от анодного напряжения через погашающее сопротивление R_1. Чтобы при передаче не «заваливались» высокие звуковые частоты, блокирующие конденсаторы C_3 и C_4 со-



Фиг. 44. Схема анодно-экранной модуляции.

единяются последовательно и соотношение их емкостей выбирается равным соотношению напряжений на аноде $U_{a0т}$ и экранной сетке $U_{c20т}$.

Расчет ступени с анодно-экранной модуляцией производится по тому же методу, что и для анодной модуляции.

8. ТЕЛЕГРАФНАЯ МАНИПУЛЯЦИЯ

Управление колебаниями высокой частоты при радиотелеграфной передаче производится телеграфным ключом. При нажатии ключа в антенне появляются колебания и происходит передача сигнала; когда ключ не нажат, излучение отсутствует. Такой вид управления колебаниями высокой частоты носит название телеграфной манипуляции или ключевания.

К качеству телеграфной манипуляции предъявляются очень серьезные требования. Основные из них следующие:

1. Ключевание в передатчике должно осуществляться так, чтобы при ненажатом ключе манипулируемая ступень

была полностью заперта и не происходило никакого излучения.

2. Во время работы ключом передатчик не должен создавать на соседних частотах помех приему на приемниках, находящихся вблизи передающей радиостанции.

3. При манипуляции частота генерируемых передатчиком колебаний не должна изменяться.

Манипуляция принципиально может производиться в любой ступени передатчика и обычно осуществляется разрывом одной из цепей питания лампы, например разрывом анодной цепи, цепи экранной сетки, цепи катода и др., или же путем запирания лампы отрицательным напряжением, подаваемым на одну из ее сеток. Манипуляция путем разрыва анодной цепи применяется крайне редко и только в маломощных передатчиках. Объясняется это тем, что при включении ключа в указанную цепь он находится под полным анодным напряжением, что опасно для оператора и, кроме того, во время разрыва цепи при манипуляции происходит сильное искрение, в результате которого создаются сильные помехи приему для близкорасположенных приемников и быстро обгорают контакты ключа.

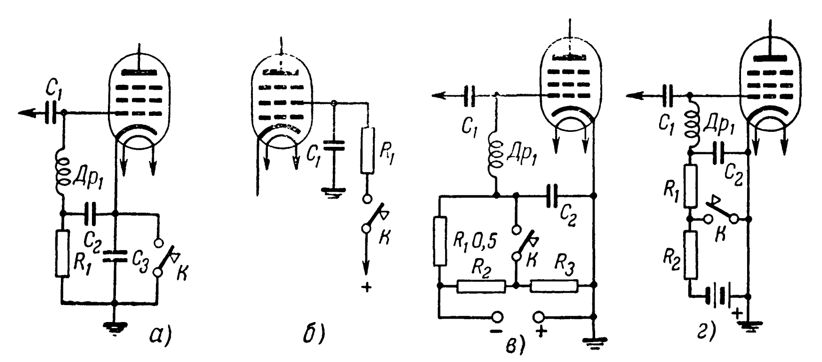
При включении ключа в цепь катода лампы (фиг. 45,*а*) он уже не находится под полным анодным напряжением, и искрение здесь получается значительно меньшим. Поэтому эта схема нашла широкое применение при ключевании в промежуточных ступенях, а также и в выходных ступенях маломощных передатчиков, работающих при сравнительно низких анодных напряжениях (до 300—350 *в*).

Схема, приведенная на фиг. 45,*б*, в которой ключ включается в цепь экранной сетки, может быть использована в любой ступени передатчика. Однако применять ее в выходной ступени не рекомендуется, так как в этом случае при отжатом ключе все же происходит некоторое просачивание энергии высокой частоты в антенну, в результате которого затрудняется прием.

Более совершенной является манипуляция в цепи управляющей сетки лампы (фиг. 45,*в* и 45,*г*). В этих схемах при отжатом ключе на управляющую сетку лампы манипулируемой ступени подается большое отрицательное смещение, полностью запирающее лампу. При нажатом ключе на сетку лампы либо подается требуемое для ее работы смещение (фиг. 45,*в*), либо в случае автоматического смещения ее цепь закорачивается на шасси (фиг. 45,*г*). Преимущество

этих схем заключается в том, что в них в цепи ключа протекают очень небольшие токи, вследствие чего отсутствует искрение и не обгорают его контакты. Подобными же способами можно осуществить ключевание и на пентодную сетку лампы.

В большинстве случаев производят манипулирование в одной из промежуточных ступеней, так как в этом случае в цепи ключа протекают меньшие токи или требуются меньшие отрицательные напряжения для запирания ступени. Иногда включают ключ в задающем генераторе, что дает



Фиг. 45. Схемы включения телеграфного ключа.

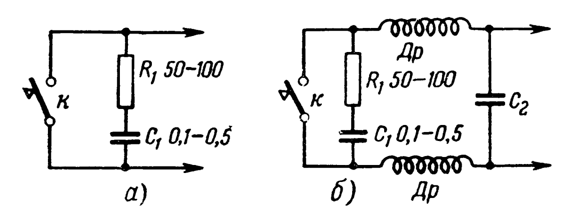
возможность вести так называемую «полудуплексную» работу. Как в том, так и в другом случае отрицательное смещение на управляющие сетки ламп всех последующих после манипулируемой ступеней можно подавать только от отдельного источника тока или автоматическое — за счет катодного тока лампы. Ни в коем случае при этом в последующих ступенях не следует применять автоматическое смещение за счет сеточного тока лампы, так как при отжатом ключе на управляющих сетках этих ламп напряжение окажется равным нулю, и лампы могут выйти из строя.

Для уменьшения обгорания контактов ключа и ослабления помех, возникающих при манипуляции в результате искрения, в цепи ключа следует применить специальную «искрогасящую» схему, одна из которых изображена на фиг. 46,*а*, и, кроме того, включить высокочастотный фильтр (фиг. 46,*б*).

Индуктивность дросселей фильтра выбирается в пределах 10—15 *мгн*, а емкость конденсатора — от 1 000 до

100 000 *мкмкф*. Более точно их величины подбираются практически. Высокочастотный фильтр и детали искрогасящей схемы должны быть установлены непосредственно у самого ключа.

Помехи радиоприему при ключевании возникают не только вследствие искрения. Большое значение имеет также и форма излучаемых сигналов. Если излучаемые сигналы

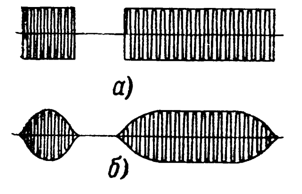


Фиг. 46.
а — «искрогасящая» схема; *б* — схема фильтра для ослабления помех, создаваемых телеграфным ключом.

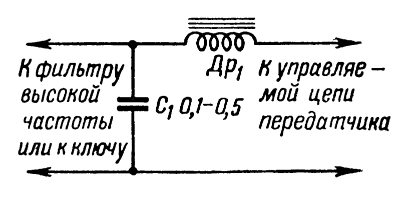
имеют прямоугольную (так называемую «жесткую») форму (фиг. 47,*а*), то в этом случае передатчиком, кроме основной частоты, излучается ряд боковых частот, создающих сильные помехи в виде щелчков для близкорасположенных приемников.

Для устранения подобного рода помех следует работать сигналами, имеющими округленную (так называемую «мягкую») форму (фиг. 47,*б*).

Получить мягкую форму сигнала можно, введя в цепь ключевания низкочастотный фильтр (фиг. 48). Дроссель



Фиг. 47. Форма сигналов при ключевании.

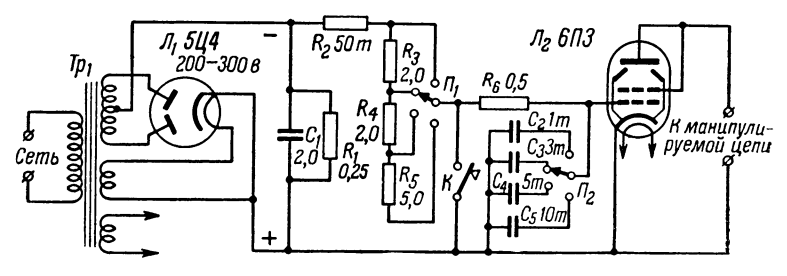


Фиг. 48. Схема низкочастотного фильтра для ключевания.

фильтра имеет индуктивность около 20—30 *гн*; емкость конденсатора C_1 подбирается опытным путем.

Еще лучшие результаты получаются в случае применения электронного реле (фиг. 49). Образование «мягкой»

формы сигнала здесь происходит следующим образом. При нажатии на ключ управляющая сетка лампы через сопротивление R_6 соединяется с ее катодом. Но так как между сеткой и катодом включен еще и один из конденсаторов C_2—C_5, то отрицательное напряжение на сетке окажется равным нулю не сразу, а будет уменьшаться постепенно до тех пор, пока конденсатор полностью не разрядится через сопротивление R_6. Соответственно начнет уменьшаться и внутреннее сопротивление лампы, через которое замыкается манипулируемая цепь и, следовательно, также постепенно будет возрастать ток в антенне. При отжатии ключа



Фиг. 49. Схема электронного реле.

процесс происходит в обратном порядке: отрицательное напряжение на сетке лампы плавно увеличивается (конденсатор заряжается через одно из сопротивлений), и когда оно достигнет определенной величины, лампа электронного реле окажется запертой, а манипуляруемая цепь—разорванной. Изменяя переключателями $П_1$ и $П_2$ величины сопротивлений и емкостей в цепи управляющей сетки, можно увеличивать или сокращать время нарастания сигнала и, таким образом, подобрать наивыгоднейшую форму сигнала.

Принципиально, электронное реле может быть включено в любую из манипулируемых цепей передатчика, однако наилучшие результаты получаются при включении его одновременно в цепи экранных сеток ламп двух-трех промежуточных ступеней. При этом следует учитывать, что на внутреннем сопротивлении лампы реле в зависимости от ее типа и величины тока в манипулируемой цепи будет теряться напряжение в несколько десятков, а иногда и сотен вольт.

Чтобы свести это падение к минимуму, лампа электронного реле должна иметь возможно меньшее внутреннее сопротивление. Практически, в случае применения лампы 6П3

можно манипулировать цепь экранной сетки выходной или нескольких промежуточных ступеней передатчика, лампой 6С5 — одной промежуточной ступени.

Следует отметить, что применение схемы мягкого ключевания в задающем генераторе не дает хороших результатов; здесь не удается полностью устранить щелчки и, кроме того, одновременно с нарастанием сигнала будет изменяться и частота генерируемых колебаний.

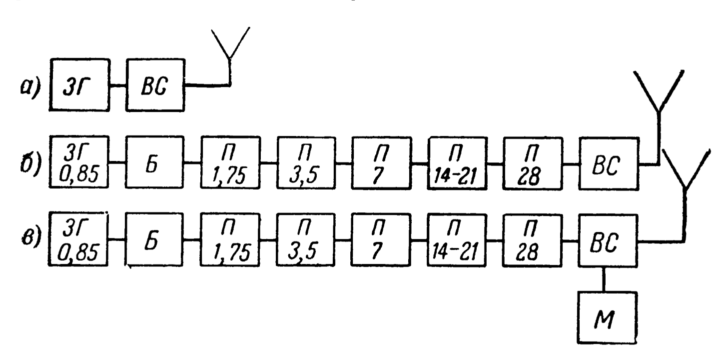
ГЛАВА ШЕСТАЯ

ПРИНЦИПЫ КОНСТРУИРОВАНИЯ И НАЛАЖИВАНИЯ ПЕРЕДАТЧИКА

1. СОСТАВЛЕНИЕ СХЕМЫ

Блок-схема. Проектирование передатчика начинается обычно с составления его блок-схемы и определения необходимого количества промежуточных ступеней.

Типовая блок-схема передатчика III категории приведена на фиг. 50,*а*. Как видно из чертежа, она несложна и состоит



Фиг. 50. Блок-схемы любительских передатчиков.

ЗГ — задающий генератор (цифры показывают частоту, *мггц*, на которую настроен задающий генератор); *Б* — буферная ступень; *П* — промежуточная ступень (цифры — частота, *мггц*); *ВС* — выходная ступень; *М* — модулятор.

всего из двух ступеней: задающего генератора и выходной ступени.

Значительно более сложной оказывается блок-схема передатчиков радиостанций II (фиг. 50,*б*) и I категорий

(фиг. 50,*в*). В этих передатчиках в качестве первой ступени применяется маломощный генератор с самовозбуждением, частота колебаний которого стабилизируется тем или иным способом. Вторая ступень, в целях повышения стабильности генерируемой частоты, используется как буферная. Далее следуют промежуточные ступени, работающие в режиме умножения частоты, и, наконец, последней ступенью является выходная.

Для любительских передатчиков требуемое количество промежуточных ступеней определяется в основном не мощностью передатчика, а числом его рабочих диапазонов. Так, например, если передатчик должен работать на всех пяти любительских диапазонах, а именно: на 160-*м* (1,715—2,000 *мггц*); 40-*м* (7—7,2 *мггц*); 20-*м* (14,00—14,4 *мггц*); 14-*м* (21,090—21,51 *мггц*) и 10-*м* (28—30 *мггц*), составление его блок-схемы и распределение волн по ступеням производятся следующим образом. Вначале определяется частота задающего генератора. Так как самым длинноволновым является 160-*м* диапазон, а для получения высокой стабильности частоты необходимо, чтобы выходная ступень работала на частоте отличной от частоты задающего генератора, последний должен работать в диапазоне частот от 0,86 до 0,95 *мггц*. Примем для задающего генератора этот диапазон частот.

В анодном контуре первого удвоителя (третья ступень по счету) выделяемая частота 1,75 *мггц* (160 *м*), второго — 3,5 *мггц* (80 *м*), третьего — 7 *мггц* (40 *м*), четвертого — 14 *мггц* (20 *м*) при работе ступени в режиме удвоения частоты и 21 *мггц* (14 *м*) — утроения, пятого — 28 *мггц* (10 *м*). Наконец, восьмой по счету ступенью передатчика будет являться выходная ступень.

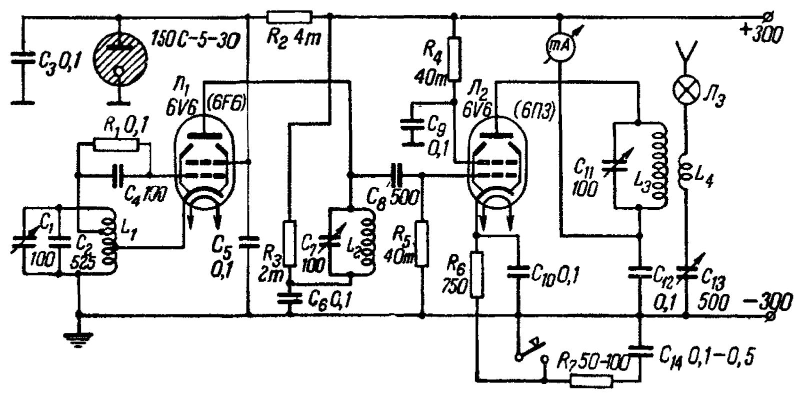
Если, например, передатчик рассчитан для работы только на четырех диапазонах, а именно: 7; 14; 21 и 28 *мггц*, то, выбрав частоту задающего генератора в пределах от 3,5 до 3,6 *мггц*, можно сократить число ступеней передатчика до шести.

Некоторые коротковолновики, устраняя буферную ступень и ставя выходную ступень на 10-*м* диапазоне в режим удвоения частоты, сокращают число ступеней передатчика до четырех. Но такое упрощение понижает стабильность генерируемой частоты, а использование режима удвоения в выходной ступени приводит к значительному снижению мощности передатчика на 10-*м* диапазоне.

Сократить число ступеней передатчика можно также и путем расширения диапазона задающего генератора, например сделав переключения в его контуре, так чтобы при работе на 1,75 *мггц* диапазоне он работал на частоте от 0,86 до 0,95 *мггц*; при работе на 7 *мггц* диапазоне — на частотах от 1,75 до 1,8 *мггц* и т. д. Однако этот путь довольно сложен и его можно рекомендовать только опытным коротковолновикам.

Таким образом, блок-схема передатчика III категории будет иметь вид, приведенный на фиг. 50,*а*, II категории — фиг. 50,*б* и I — фиг. 50,*в*.

Прииципиальиая схема. После того как будет составлена блок-схема передатчика, можно будет перейти к составлению принципиальной схемы.



Фиг. 51. Принципиальиая схема передатчика III категории.

Принципиальная схема передатчика III категории приведена на фиг. 51. Задающий генератор здесь собран на лампе 6F6 или 6V6 по схеме с электронной связью и работает в режиме удвоения частоты. Выходная ступень работает на лампе 6V6 или 6П3. Контроль работы передатчика производится с помощью миллиамперметра, стоящего в анодной цепи выходной лампы, и индикаторной лампочки $Л_3$ в цепи антенны.

Данные катушек в схеме следующие: катушка L_1 наматывается в один слой на керамическом каркасе диаметром 35 *мм* и имеет 45 витков провода ПЭ 0,35 *мм*. Отвод к катоду лампы делается от 11-го витка, к сетке — от 30-го. Длина намотки — 20 *мм*. Катушка L_2 диаметром 30 *мм* и имеет

55 витков провода ПЭ 0,4 *мм*, намотанных виток к витку. Катушка L_3 наматывается виток к витку на каркасе диаметром 60 *мм* и имеет 32 витка провода ПЭ 1,2 *мм*. Катушка L_4 имеет 8 витков провода ПЭ 0,5 *мм* и наматывается на прессшпановом кольце, с трением перемещающемся по каркасу катушки L_3.

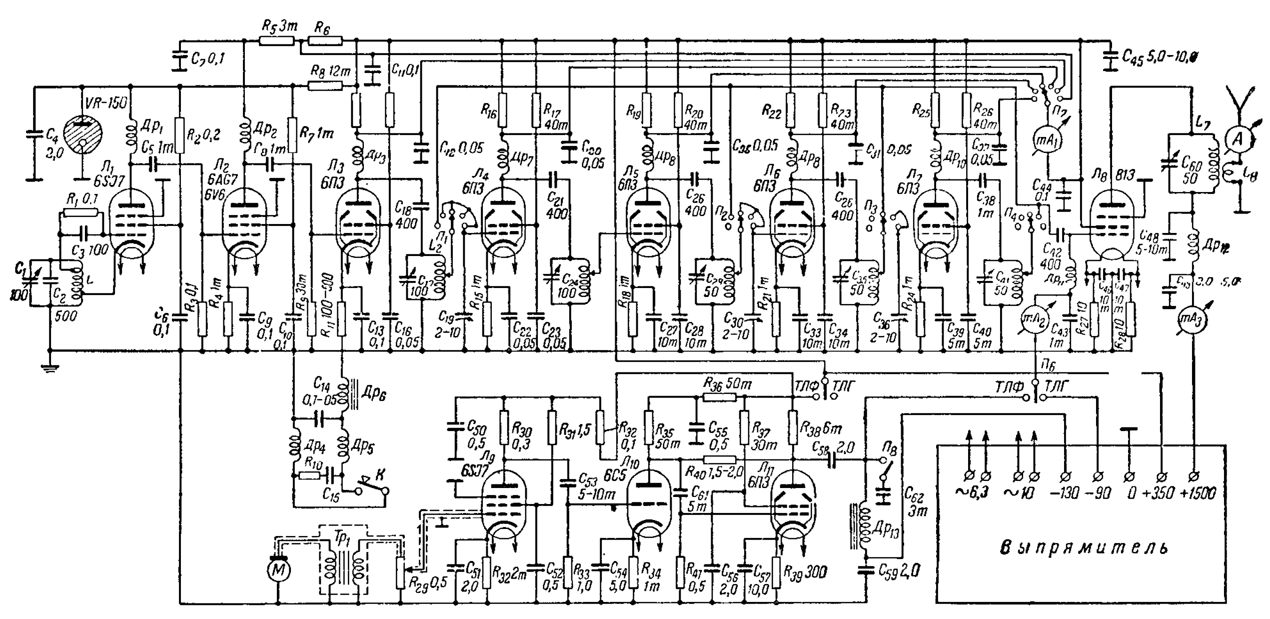
Приведенная схема проста и особых пояснений не требует. Поэтому более подробно мы на ней останавливаться не будем.

Рассмотрим более подробно вопрос о составлении принципиальной схемы для сложного передатчика I категории (фиг. 52).

Задающий генератор в таких передатчиках собирается на приемных лампах: 6К7, 6SK7, 6Ж7, 6SJ7 и т. д. по схеме с электронной связью, причем для повышения стабильности генерируемой частоты в качестве анодной нагрузки используется обычно не колебательный контур, а дроссель высокой частоты или активное сопротивление в 10 000—20 000 *ом*.

Следующая буферная ступень работает без сеточных токов. В ней применяются обычно усилительные лампы типа 6Ф6, 6V6, 6AC7, 6AG7 и др. Как и в задающем генераторе, в анодной цепи лампы буферной ступени вместо колебательного контура включается дроссель высокой частоты. Однако, чтобы не произошло самовозбуждения буферной ступени (по схеме «настроенный анод — настроенная сетка»), дроссели в анодных цепях этих ступеней, составляющие вместе с собственной емкостью, выходной емкостью лампы, входной емкостью следующей лампы и емкостью монтажа колебательные контуры схемы самовозбуждающегося генератора, должны иметь разные данные. Смещение на сетку можно подвести от отдельного источника или применить автоматическое за счет анодного тока лампы. Вследствие отсутствия сеточного тока нет необходимости включать в цепь сетки лампы буферной ступени дроссель высокой частоты. Его вполне можно заменить сопротивлением в 0,1—0,3 *мгом*.

Все промежуточные ступени следует собирать по одной и той же схеме и на одних и тех же лампах. Различие между ступенями состоит лишь в данных анодных контуров и дросселей высокой частоты в анодных (и сеточных, если там таковые имеются) цепях. Смещение на сетки ламп лучше всего подавать от отдельного источника тока или автоматически за счет катодного тока. Применять автоматическое смещение за счет сеточного тока не рекомендуется, так как



Фиг. 52. Принципиальная схема передатчика I категории.

в этом случае значительно усложняется схема переключения диапазонов и, кроме того, не будет возможности производить ключевание в задающем генераторе или одной из промежуточных ступеней.

Для контроля работы ламп и настройки всех промежуточных ступеней нет необходимости устанавливать в передатчике несколько приборов. Достаточно иметь лишь один прибор и с помощью переключателя подключать его к испытуемой ступени. В целях упрощения переключателя и монтажа передатчика шунт из прибора вынимается, а в анодной цепи каждой лампы включаются отдельные шунтирующие прибор сопротивления: R_6, R_{13}, R_{16}, R_{19}, R_{22} и R_{25}.

По какой схеме питания собирать промежуточные ступени, принципиально не имеет значения. Но практически, если смещение на сетки ламп последующих ступеней осуществляется автоматическое, за счет катодного тока, удобнее применять схему параллельного питания, если от отдельного источника тока — схему последовательного питания.

Выходную ступень лучше всего собрать по схеме последовательного питания, а смещение на управляющую сетку лампы подводить от отдельного источника тока. В цепях анода, сетки и антенны необходимо включить соответствующие измерительные приборы, причем миллиамперметр, стоящий в сеточной цепи, должен иметь предел измерений, примерно, в 10 раз меньший, чем в анодной.

Питание экранной сетки можно осуществить двумя различными способами: через погашающее сопротивление или от выпрямителя, питающего промежуточные ступени. Преимущество первого способа состоит в том, что при такой схеме питания выход из строя анодного выпрямителя совершенно безопасен для лампы выходной ступени, в то время как при втором способе в случае аварии с анодным выпрямителем вследствие резкого возрастания экранного тока при нажатом ключе может выйти из строя лампа. Однако первый способ обладает и существенными недостатками: необходимостью применения в цепи экранной сетки сравнительно мощного сопротивления (30—40 *вт* для 100-ваттного передатчика), повышения мощности высоковольтного выпрямителя на величину $\Delta P = U_{a0} \cdot I_{c20}$ и, наконец, необходимостью изменять величину включенного сопротивления при переводе передатчика в телефонный режим.

В силу указанных причин чаще применяется второй способ питания цепи экранной сетки лампы выходной ступени.

Ключ в приведенной схеме передатчика включен в цепь катода первого удвоителя.

Модуляция может быть осуществлена по одной из ранее описанных схем. В данной схеме применена сеточная модуляция смещением. Модулятор представляет собой обыкновенный трехступенный усилитель низкой частоты с отрицательной обратной связью. При речевой передаче для срезания высоких звуковых частот выход модулятора шунтируется конденсатором C_{62} емкостью 2—3 тыс. *мкмкф*.

Переключение диапазонов осуществляется переключателями $П_1$, $П_2$, $П_3$, $П_4$, находящимися на одной оси и включающими требуемое для получения нужного диапазона количество удвоителей и переключением или сменой катушек в выходной ступени. Подстроечные конденсаторы C_{19}, C_{30} и C_{36} в цепях сеток ламп удвоителей служат для уравнивания входных емкостей ламп промежуточных ступеней и лампы выходной ступени. Их величина устанавливается таким образом, чтобы при переключении цепи с сетки лампы любого удвоителя на сетку лампы выходной ступени не происходило расстройки анодных контуров промежуточных ступеней.

Остальные участки схемы, как, например, схемы связи с антенной, связи между ступенями и т. д., были нами подробно разобраны в предыдущих главах брошюры.

Схема передатчика радиостанции II категории отличается от разобранной выше лишь тем, что в ней отсутствует модулятор и в выходной ступени применяется менее мощная лампа.

После того как будет закончено составление схемы, можно будет приступить к расчету основных данных передатчика. Расчет следует производить, начиная с выходной ступени.

2. ОБЩИЕ СООБРАЖЕНИЯ ПО КОНСТРУКТИВНОМУ ВЫПОЛНЕНИЮ

Конструктивно передатчик может быть выполнен на угловой панели с приподнятой на 5—7 *см* горизонтальной частью или в виде вертикальной конструкции, в которой ступени располагаются в несколько этажей. Принципиально, не имеет значения, расположены ли ступени горизонтально или вертикально. Важно лишь расположить их так, чтобы удобно было осуществить связь между ступенями, чтобы выходная ступень не находилась в непосредственной близости к задающему генератору и не влияла на работу последнего

и, наконец, чтобы детали задающего генератора не подвергались тепловому воздействию со стороны ламп промежуточных и выходной ступеней. Так, например, при вертикальной конструкции передатчика задающий генератор и промежуточные ступени следует располагать внизу, а выходную ступень и модулирующее устройство — в верхней части и т. п.

Не следует слишком уменьшать размеры передатчика, так как при этом сильно увеличивается нагрев деталей, вследствие чего понижается стабильность частоты генерируемых колебаний. Кроме того, с уменьшением размеров конструкции различные детали и экраны приближаются к анодному контуру выходной ступени, в результате чего в контур вносятся дополнительные потери и уменьшается выходная мощность передатчика.

С целью уменьшения различных нежелательных связей, приводящих к самовозбуждению отдельных ступеней, возникновению паразитных колебаний, ухудшению тона и т. д. все ступени желательно отделить друг от друга экранами. Особенно тщательно следует экранировать задающий генератор и буферную ступень.

Панели, шасси и экраны следует изготовлять из 1,5—2-*мм* алюминия, латуни, меди или, в крайнем случае, стали. Крепление деталей на шасси должно быть жестким и надежным. Располагать детали необходимо таким образом, чтобы соединительные провода, несущие токи высокой частоты, были возможно короче. Например, конденсаторы, соединяющие с землей различные электроды ламп, должны находиться непосредственно у ламповой панели и т. д. Ни в коем случае не следует допускать, чтобы детали и провода, находящиеся под потенциалом высокой частоты, относящиеся к анодной и сеточной цепям одной и той же лампы, были расположены рядом и не были разделены экранами.

Монтаж должен быть выполнен аккуратно, все соединения должны быть сделаны на пайках. Цепи питания удобнее всего монтировать одножильным изолированным проводом (например, с хлорвиниловой изоляцией); цепи, несущие токи высокой частоты, следует выполнять голым медным проводом диаметром 1,5—2 *мм* или, что еще лучше, медными шинками.

Вся конструкция должна быть помещена в металлический ящик. Для лучшего охлаждения передатчика в боковых стенках ящика необходимо просверлить несколько отверстий; диаметр отверстий можно взять равным 5—8 *мм*.

3. НАЛАЖИВАНИЕ И НАСТРОЙКА ПЕРЕДАТЧИКА

Прежде чем приступить к настройке и налаживанию передатчика, необходимо тщательно проверить по схеме правильность монтажа и надежность всех соединений. Лишь только после соответствующей проверки можно включать передатчик. Однако не следует включать сразу все ступени. Значительно удобнее налаживание производить по ступеням, начиная с задающего генератора.

Настройка задающего генератора. При правильном выполнении всех соединений налаживание задающего генератора сводится в основном лишь к подбору наивыгоднейшей связи контура с лампой, емкости компенсирующего конденсатора, установлению требуемой частоты и, наконец, градуировки шкалы.

О методах подбора наивыгоднейшей связи лампы с контуром, а также емкости компенсирующего конденсатора мы уже достаточно подробно говорили в гл. 4, и поэтому сейчас остановимся только на вопросах установления требуемой частоты и градуировки шкалы.

Обычно наиболее серьезное затруднение при настройке задающего генератора вызывает вопрос определения частоты генерируемых им колебаний, так как очень часто нелегко бывает отличить основную частоту задающего генератора от его многочисленных гармоник. Использование для этой цели простейшего резонансного волномера желаемых результатов не дает. Поэтому определение частоты и градуировку удобнее всего производить, пользуясь коротковолновым приемником, имеющим точную градуировку, или гетеродинным волномером.

Для определения основной частоты нет необходимости отыскивать по приемнику именно ту частоту, которую генерирует задающий генератор. Достаточно найти лишь две соседние гармоники, а затем уже по их разности можно будет вычислить и искомую частоту. Например, если задающий генератор прослушивается на частотах 9, 12, 15, 18 *мггц*, и т. д., то генерируемая им частота равна

$$f_1 = 12 - 9 = 3 \text{ мггц}$$

или, что то же,

$$f_1 = 15 - 12 = 3 \text{ мггц и т. п.}$$

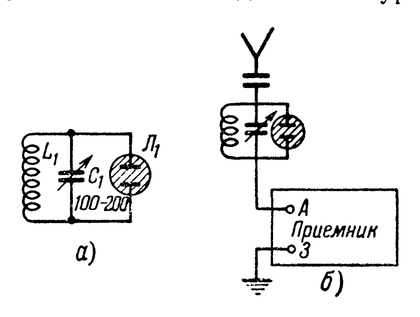
Пользуясь этим методом, можно определить частоту генерируемых колебаний даже и в том случае, если в прием-

нике совсем отсутствует диапазон волн, в котором работает задающий генератор.

Определив генерируемую частоту и меняя параметры контура задающего генератора, необходимо сделать ее равной требуемой.

Затем, по приемнику или гетеродинному волномеру путем настройки на нулевые биения производится точная градуировка шкалы передатчика.

Настройка первого удвоителя. После налаживания задающего генератора следует приступить к настройке и налаживанию первого удвоителя. С этой целью необходимо отключить от анодного контура удвоителя L_2C_{17} (фиг. 52) цепь управляющей сетки лампы следующей ступени, с помощью переключателя $П_7$ присоединить к анодной цепи лампы $Л_3$ миллиамперметр mA_1 и подключить к промежуточным ступеням источники питания. Затем, контур L_2C_{17} настраивается на вторую гармонику частоты задающего генератора: $f_2=2f_1$ (в нашем случае на частоту 1,75 *мггц*).



Фиг. 53. Схема резонансного волномера и схема его включения.

Индикатором настройки может служить анодный миллиамперметр mA_1; в момент резонанса показания прибора заметно уменьшатся. При отсутствии прибора настройка осуществляется по максимальному свечению индикаторной лампочки, в качестве которой может быть использована неоновая лампочка или лампочка от карманного фонаря, индуктивно связанная с контуром посредством одного-двух витков провода.

Следует отметить, что в анодном контуре удвоителя при неудачной настройке или неправильном количестве витков контурной катушки может выделиться не вторая, а например, третья и т. д. гармоника или основная частота. Для определения частоты колебаний, выделяемых в контуре L_2C_{17}, необходимо сделать простейший резонансный волномер. Такой волномер состоит из катушки L_1 (фиг. 53,*а*), переменного конденсатора C_1 и неоновой лампочки $Л_1$. Если индуктивно связать катушку волномера с анодной катушкой кон-

тура удвоителя L_{17}, то при настройке волномера в резонанс с частотой колебаний в контуре L_2C_{17} неоновая лампочка загорится.

Отградуировать описанный выше волномер можно, включив его в антенную цепь приемника, как показано на фиг. 53,*б*. При таком включении волномер является фильтром-пробкой, и поэтому при настройке его на ту же частоту, что и частота принимаемой радиостанции, громкость приема последней резко снизится. Естественно, конечно, что при таком способе градуировки шкала волномера получается довольно грубой, но ее точность оказывается вполне достаточной для определения номера гармоники, выделяемой в контуре удвоителя.

Для расширения диапазона волн волномера катушку его контура нужно сделать сменной.

После того как контур L_2C_{17} (фиг. 52) будет настроен на нужную частоту, можно будет приступить к настройке и налаживанию на этом диапазоне выходной ступени передатчика.

Настройка и налаживание выходной ступени в телеграфном режиме. Для настройки выходной ступени нужно примерно к середине контурной катушки удвоителя L_2 с помощью щупа и переключателя $П_1$ подключить сеточную цепь лампы выходной ступени передатчика, к управляющей сетке лампы $Л_8$ подвести требуемое отрицательное напряжение смещения и затем включить анодное напряжение и напряжение на экранную сетку. В целях предохранения выходной лампы от аварии анодное напряжение на время настройки следует понижать на 25—30% (например, путем уменьшения переменного напряжения на первичной обмотке высоковольтного трансформатора). Антенна к передатчику не подключается.

Так как подключение цепи сетки выходной лампы $Л_8$ к контуру удвоителя приводит к некоторой его расстройке, то налаживание следует начать с подстройки контура в резонанс — путем уменьшения емкости переменного конденсатора C_{17}. Затем, производится настройка анодного контура выходной ступени L_7C_{60}. При настройке контура в резонанс будет наблюдаться резкое возрастание сеточного тока лампы выходной ступени и уменьшение ее анодного тока. Правильность настройки необходимо проверить с помощью резонансного волномера.

Далее, выходную ступень следует нагрузить на эквивалент антенны, в качестве которого может быть использована лампа накаливания мощностью 25—150 *вт* (в зависимости от мощности передатчика), и увеличить анодное напряжение до нормальной величины. Возможно, что включение эквивалента внесет в контур некоторую расстройку. Поэтому, прежде чем производить дальнейшее налаживание ступени, необходимо по максимальному свечению лампы-эквивалента подстроить контур в резонанс. Затем, изменяя связь лампы-эквивалента с контуром и подстраивая последний, нужно добиться максимального свечения лампы. При этом режим работы выходной ступени окажется критическим или слегка перенапряженным, что можно проверить, сравнивая показания анодного (mA_3) и сеточного (mA_2) приборов.

Однако полученный режим еще не будет являться расчетным. Насколько он отличается от расчетного, можно судить по показаниям анодного миллиамперметра. Если миллиамперметр mA_{a0}, показывающий величину постоянной составляющей анодного тока I_{a0}, дает показания меньшие, чем I_{a0} расчетное, то это говорит о том, что напряжение возбуждения мало и мала также мощность, отдаваемая передатчиком. В этом случае путем перемещения щупа по катушке L_2 нужно будет увеличить возбуждающее напряжение на сетке выходной лампы (контур L_2C_{17} после изменения связи необходимо будет снова подстроить в резонанс) и, увеличивая связь лампы-эквивалента с контуром L_7C_{60}, вновь добиться критического режима. Если миллиамперметр mA_3 показывает величину больше требуемой, то напряжение возбуждения придется уменьшить. Эти операции необходимо проделывать до тех пор, пока анодный ток выходной лампы не достигнет расчетной величины.

О напряженности режима работы выходной ступени удобнее всего судить, сравнивая показания анодного и сеточного миллиамперметров. Однако очень часто в сеточной цепи лампы выходной ступени прибор не включается. В этом случае о напряженности режима ориентировочно можно судить только по показаниям одного анодного миллиамперметра; в критическом режиме при настройке анодного контура в резонанс показания прибора уменьшаются на 10—15%, в перенапряженном — больше чем на 15%, а в недонапряженном — меньше чем на 10%.

После того как настройка и налаживание выходной ступени с эквивалентом антенны будут закончены, лампу-экви-

валент следует отключить и подсоединить к передатчику антенну. Далее, путем изменения связи антенны с контуром необходимо будет вновь добиться критического режима работы лампы выходной ступени. Естественно, конечно, что контур после подключения антенны, а также и при подборе связи с антенной придется подстраивать в резонанс.

Предостережение. Контур L_7C_{60} находится под высоким напряжением по отношению к земле. Поэтому при всех переключениях в анодной цепи выходной ступени передатчика не забывайте выключать высокое напряжение и разряжать конденсаторы фильтра. При настройке ступени будьте осторожны и внимательны

Дальнейшее налаживание. После того как будет закончено налаживание передатчика на 1,75-*мггц* диапазоне, можно будет приступить к налаживанию его для работы на диапазоне 7 *мггц*. С этой целью переключателями $П_1$ и $П_2$ цепь сетки лампы выходной ступени отключается от контура L_2C_{17} и подключается к анодному контуру третьего удвоителя L_4C_{29}. Одновременно цепь сетки лампы второго удвоителя подключается к контуру L_2C_{17}. При этом вследствие неравенства емкостей ламп $Л_4$ и $Л_8$ контур L_2C_{17} окажется несколько расстроенным. Путем изменения емкости подстроечного конденсатора C_{19} контур L_2C_{17} вновь подстраивается в резонанс. Затем, по тому же методу, по которому производилась настройка первого удвоителя, настраиваются второй и третий удвоители. Режим работы удвоителей желательно устанавливать немного перенапряженным

Так как напряжение к сетке лампы $Л_4$ подводится вполне определенное, равное напряжению возбуждения, подводимому к выходной лампе, режим работы удвоителя устанавливается путем более точного подбора величины сопротивления в цепи катода лампы.

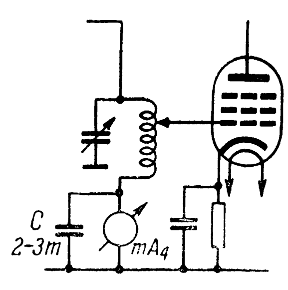
Проверять напряженность режима можно ориентировочно по уменьшению показаний прибора mA_1 при настройке анодного контура в резонанс. Но лучше на время налаживания подключить к цепи сетки регулируемого удвоителя миллиамперметр mA_4 (фиг. 54) и сравнивать показания анодного (mA_1) и сеточного (mA_4) приборов.

Режим работы ступени необходимо устанавливать при нормальной нагрузке анодного контура цепью сетки следующей лампы.

После окончания налаживания удвоителей следует наладить на этом диапазоне и выходную ступень.

Налаживание передатчика на всех остальных диапазонах производится так же, как и на диапазонах 1,75 и 7 *мггц*.

Налаживание телефонной работы передатчика. Приступить к налаживанию телефонной работы передатчика рекомендуется лишь после того, как будет окончательно закончено его налаживание и регулировка в телеграфном режиме. Налаживание следует начинать с перевода передатчика в телефонный режим. Для этого его прежде всего необходимо настроить в телеграфный режим, подобрать наивыгоднейшую связь с антенной, а затем изменить напряжение на том электроде выходной лампы, на который производится модуляция, до требуемой для телефонного режима величины. Так, при сеточной модуляции смещением нужно увеличить напряжение смещения на управляющей сетке, при экранной модуляции — уменьшить напряжение на экранной сетке и т. п. При этом показания анодного и антенного приборов должны уменьшиться, примерно, в два раза. Следует отметить, что если теперь вновь подобрать наивыгоднейшую связь антенны с контуром, то отдаваемая передатчиком мощность возрастет, однако во избежание появления нелинейных искажений после перевода передатчика в телефонный режим ни в коем случае не следует изменять связь антенны с контуром, а необходимо оставить ее такой, какой она была установлена при телеграфном режиме.



Фиг. 54. Схема включения миллиамперметра.

Во время передачи показания анодного миллиамперметра mA_3 (фиг. 52) не должны заметно изменяться. Лишь при очень глубокой модуляции (на пиках) обычно наблюдается уменьшение анодного тока на 4—5%. Большие изменения показаний будут свидетельствовать о возникновении значительных нелинейных искажений. Показания антенного амперметра *A* при передаче должны увеличиваться, причем при 100%-ной модуляции в случае включения в цепь антенны теплового (или с термопарой) амперметра его показания возрастают на 22% (но не в 2 раза!). Большее увеличение

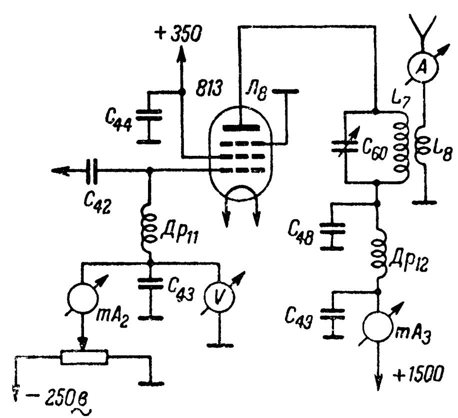
показаний антенного прибора будет говорить о возникновении нелинейных искажений.

При налаживании телефонного передатчика коротковолновикам наиболее часто приходится сталкиваться со следующими явлениями:

1. При разговоре перед микрофоном прибор mA_3 показывает уменьшение анодного тока. Причина — неправильно установлен телефонный режим. В этом случае следует увеличить напряжение смещения на управляющей сетке лампы или, если оно соответствует расчетным или заводским данным, уменьшить величину возбуждающего напряжения.

2. При разговоре перед микрофоном показания прибора mA_3 увеличиваются. Причина — велико отрицательное смещение на сетке лампы.

3. При слабом звуке перед микрофоном показания антенного прибора увеличиваются, а при нормальном — почти не изменяются или уменьшаются. Причина — перемодуляция. Необходимо уменьшить модулирующее напряжение.



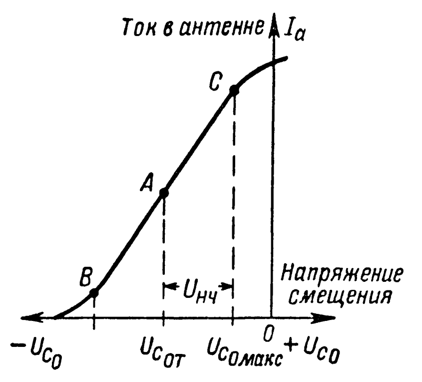
Фиг. 55. Схема для снятия модуляционной характеристики.

Практически, наиболее точно выбрать телефонную точку и, тем самым, упростить процесс налаживания телефонной работы передатчика можно, сняв с него статическую модуляционную характеристику, показывающую зависимость тока в контуре или антенне от величины напряжения на том электроде, на который производится модуляция. В нашем случае это будет зависимость между током в антенне и напряжением смещения на управляющей сетке. Для того чтобы снять статическую модуляционную характеристику, необходимо собрать схему, изображенную на фиг. 55. Характеристика снимается следующим образом: вначале передатчик настраивается в телеграфный режим, затем с помощью потенциометра $П_1$ изменяется напряжение U_{c0} и при различных U_{c0} записываются показания антенного прибора. По

полученным таким образом данным строится график. Он имеет вид, показанный на фиг. 56. Затем, определяем необходимые данные. Постоянное напряжение на сетке $U_{c0т}$ выбирается так, чтобы телефонная точка A находилась на середине прямолинейного участка характеристики. Амплитуда модулирующего напряжения определяется как разность

$$U_{m\ н.\ ч} = U_{c0макс} - U_{c0т}. \quad (110)$$

После определения телефонной точки по такому методу производить дополнительного налаживания передатчика в телефонном режиме практически не потребуется.



Фиг. 56. Модуляционная характеристика.

Следует отметить, что неудовлетворительное качество телефонной передачи может происходить не только из-за неналаженности передатчика, но и из-за плохой работы микрофона и модулятора. Поэтому к налаживанию работы этой части передающего устройства нужно подходить так же серьезно, как и к налаживанию собственно передатчика. Для предупреждения появления при передаче фона переменного тока, возникающего в результате воздействия магнитных полей, а также высокочастотных наводок собственного передатчика, микрофонные цепи и весь модулятор необходимо тщательно экранировать.

4. ПАРАЗИТНЫЕ КОЛЕБАНИЯ В ПЕРЕДАТЧИКАХ

Возникающие в отдельных ступенях передатчика паразитные колебания нарушают его нормальную работу и приводят к ухудшению тона, появлению искажений при телефонной передаче, снижению стабильности частоты, уменьшению полезной мощности, а иногда и к выходу из строя отдельных деталей и ламп. Поэтому проверка передатчика на наличие паразитных колебаний и их устранение является одним из наиболее ответственных моментов в налаживании передатчика.

Коротковолновикам наиболее часто приходится сталкиваться со следующими видами паразитных колебаний: самовозбуждением одной из промежуточных или выходной ступеней, с так называемыми дроссельными и ультракоротковолновыми (УКВ) паразитными колебаниями.

Самовозбуждение чаще всего происходит в выходной ступени, причем частота возникающих паразитных колебаний в этом случае оказывается близкой к рабочей частоте передатчика. Проверку ступени на самовозбуждение можно производить с помощью приборов, включенных в анодную и сеточную цепи лампы, неоновой или индикаторной лампочек; при самовозбуждении при выключенном задающем генераторе сеточный и анодный приборы дают почти такие же показания, как и при нормальной работе передатчика; неоновая или индикаторная лампочка, связанные с контуром, загораются.

Дроссельные паразитные колебания наиболее часто возникают в буферной ступени и реже в промежуточных ступенях, работающих по схеме последовательного питания. Контуры самовозбуждающегося генератора здесь образуются из индуктивности дроссельных катушек и емкости схемы (ламп, монтажа, переходных конденсаторов и т. д.). Поэтому частота возникающих паразитных колебаний обычно получается значительно ниже, чем рабочая частота ступени.

Обнаружить дроссельные паразитные колебания можно по чрезмерному нагреву дросселей (в случае достаточной мощности ступени) или с помощью неоновой лампочки, поднесенной к дросселю испытуемой ступени. Задающий генератор при испытании должен быть выключен.

УКВ-паразитные колебания возникают обычно на частотах 60—100 *мггц*. Контуры самовозбуждающегося генератора в этом случае образуются из индуктивностей выводов лампы и соединительных проводов и из междуэлектродных и монтажных емкостей. Поэтому при УКВ-паразитных колебаниях в выводных проводниках лампы возникают очень большие высокочастотные токи, вызывающие иногда перегорание выводных проводников (например, вывода сетки) и выход лампы из строя. УКВ-паразитные колебания можно обнаружить с помощью неоновой лампочки, поднесенной непосредственно к выводам лампы. Задающий генератор при этом необходимо, конечно, выключить.

Паразитные колебания чаще всего возникают в результате неудачного расположения деталей, монтажа и плохой

экранировки. Поэтому, чтобы предупредить возникновение паразитных колебаний, расположение деталей и монтаж нужно производить так, как об этом говорилось в разделе «Общие соображения по конструктивному выполнению». Кроме того, следует учитывать, что конденсаторы, стоящие в развязывающих цепях и соединяющие с землей экранные сетки, должны быть безиндукционными. Для предупреждения возникновения дроссельных паразитных колебаний в смежных ступенях необходимо применять дроссели, имеющие неодинаковую индуктивность. Наконец, с целью устранения УКВ-паразитных колебаний в сеточную цепь лампы непосредственно у ламповой панельки включают часто безиндукционное сопротивление 50—100 *ом*, а в анодную (непосредственно у анода) — дроссель, имеющий 5—10 витков провода диаметром 1—1,5 *мм*. Дроссель обычно шунтируют безиндукционным (мастичным) сопротивлением 10—30 *ом* мощностью 1,5—2 *вт*. Обмотки дросселя размещаются на самом сопротивлении.

5. ОСНОВНЫЕ ПРАВИЛА ТЕХНИКИ БЕЗОПАСНОСТИ

1. Передатчик и выпрямительное устройство должны быть смонтированы в ящике или закрыты кожухами так, чтобы невозможно было случайное прикосновение оператора к токонесущим проводам и деталям.

2. В конструкции ящика необходимо предусмотреть блокировку, которая отключала бы высокое напряжение при снятии чехлов или извлечении передатчика или выпрямителя из ящика.

3. Все внешние металлические части аппаратуры (кожух, металлические ящики и т. п.) должны быть заземлены.

4. На радиостанции должен быть установлен грозовой переключатель.

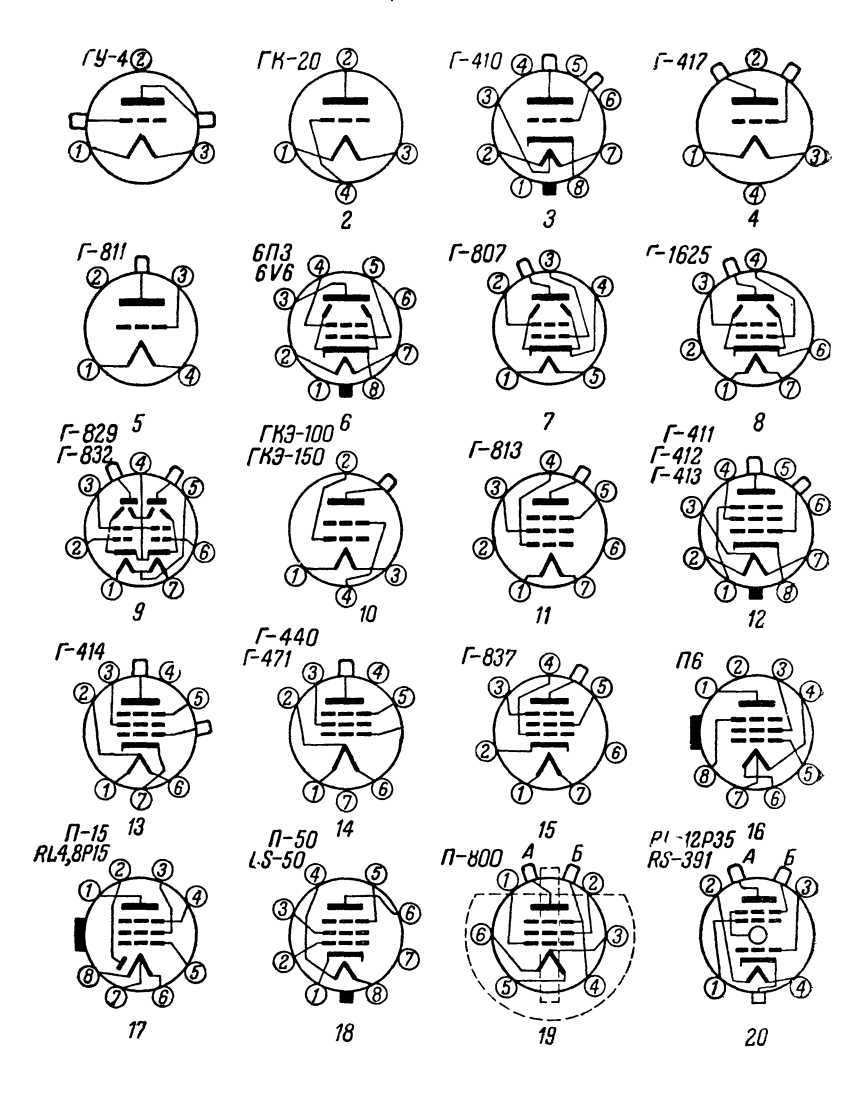
5. Параллельно выходу выпрямительного устройства необходимо включить шунтирующее сопротивление, назначение которого состоит в том, чтобы через него разряжались конденсаторы фильтра при выключении аппаратуры.

6. При налаживании аппаратуры будьте осторожны и внимательны. Всякие изменения в передатчике (замену отдельных деталей и ламп, перестановку щупов и т. д.) производите только при выключенных выпрямителях. Не забывайте при этом разряжать конденсаторы фильтра.

ПРИЛОЖЕНИЕ

ГЕНЕРАТОРНЫЕ ЛАМПЫ

А. Цоколевка



Б. Параметры

Тип лампы	Напряжение накала, *в*	Ток накала, *а*	Анодное напряжение, *в*	Напряжение на экранной сетке, *в*	Напряжение на защитной сетке, *в*	Приведенное напряжение на сетке, *в*	Ток эмиссии, *ма*	Номинальная мощность, *вт*	Допустимая мощность на аноде, *вт*	Крутизна характеристики, *ма/в*	Проницаемость	Коэффициент усиления по защитной сетке	Внутриламповые емкости, *мкмкф*: проходная	входная	выходная	Предельная частота при полном анодном напряжении, *мгц*	Цоколь
	$U_н$	$I_н$	U_{a0}	$U_{c_2 0}$	$U_{c_3 0}$	U'_{c0}	I_e	$P_{ном}$	$P_{a доп}$	S	D	μ	C_{ac}	$C_{вх}$	$C_{вых}$	$f_{пред}$	
I. Генераторные триоды																	
ГУ-4	7	1,8	700	—	—	—45	75	10	35	1,4	0,08	—	2,1	1,4	1,9	85	1
ГК-20	5,6	0,85	750	—	—	—6	200	25	20	1,75	0,019	—	4	—	—	20	2
Г-410	10 20	0,45 0,225	400	—	—	—12	200	10	10	4	0,042	—	2,9	2,7	0,9	—	3
Г-417	5	1,15	400/750	—	—	—14	200	10/20	20	1,7	0,055	—	3,1	1,9	1,0	—	4
Г-811	6,3	4	1 250	—	—	—20	350	115	50	—	0,006	—	5,5	5,5	0,6	60	5
II. Генераторные тетроды																	
6П3	6,3	0,9	400	250	—	—25	250	20	20,5	6,0	0,007	—	1,0	12	11	12	6
Г-807	6,3	0,9	600	250	—	—25	350	40	25	6,0	0,003	—	0,2	11	7	60	7
Г-1625	12,6	0,45	600	250	—	—25	350	40	25	6,0	0,003	—	0,2	11	7	60	8
Г-832	6,3/12,6	1,6/0,8	500	200	—	—40	220	26	15	3,5	0,006	—	0,05	7,5	3,8	200	9
Г-829	6,3/12,6	2,25/1,125	500	200	—	—30	550	83	40	8,5	0,005	—	0,1	15,2	6,5	200	9
ГКЭ-100	11	2	1 500	250	—	—32	500	100	80	2,5	0,004	—	0,05	15,2	10,5	200	10
Г-813	10	5	1 500	300	0	—45	600	200	100	7,5	0,004	—	0,2	16,3	4	60	11
ГКЭ-150	11	6,3	3 000	500	—	—70	420	150	100	1,8	0,004	—	0,05	—	—	20	10

Продолжение

Тип лампы	Напряжение накала, *в* $U_н$	Ток накала, *а* $I_н$	Анодное напряжение, *в* U_{a0}	Напряжение на экранной сетке, *в* $U_{c_2 0}$	Напряжение на защитной сетке, *в* $U_{c_3 0}$	Приведенное напряжение на сетке, *в* U'_{c0}	Ток эмиссии, *ма* I_e	Номинальная мощность, *вт* $P_{ном}$	Допустимая мощность на аноде, *вт* $P_{адоп}$	Крутизна характеристики, *ма/в* S	Проницаемость D	Коэффициент усиления по защитной сетке μ	Внутриламповые емкости, *мкмкф*: проходная C_{ac}	Внутриламповые емкости, *мкмкф*: входная $C_{вх}$	Внутриламповые емкости, *мкмкф*: выходная $C_{вых}$	Предельная частота при полном анодном напряжении, *мггц* $f_{пред}$	Цоколь
III. Генераторные пентоды																	
Г-411	10/20	0,6/0,3	400	250	30	—25	400	20	20	6,0	0,01	4	0,3	9,5	7,5	50	12
Г-412	10/20	0,45/0,23	750	250	40	—15	300	25	20	3,8	0,002	4	0,1	6,5	6	20	12
Г-413	10/20	1/0,5	750	250	40	—25	400	50	40	4,7	0,002	4	0,22	12	11	20	12
Г-414	10/20	3,0/	1 500	350	40	—40	500	160	100	6,0	0,002	—	0,15	21	19	20	13
Г-414		1,5	750	350	40	—40	500	100	100	6,0	0,002	—	0,15	21	19	20	13
Г-440	20	3,0	1 500	400	50	—30	1 000	300	150	4,2	0,004	6	0,15	15	18	20	14
Г-471	20	3,0	1 500	400	50	—	850	250	125	5,0	0,004	6	0,15	15	18	20	14
Г-837	12,6	0,7	500	200	0	—2,5	200	20	12	3,4	—	—	0,12	16	10	20	15
П-6	4,2	0,33	250	250	0	—15	50	5	7,5	6,0	—	—	0,1	9,7	18,8	100	16
П-15	4,8	0,68	400	200	0	—	120	12	15	4,0	—	—	0,15	12	14	30	17
П-50	12,6	0,7	1 000	300	0	—25	360	50	40	5,0	0,004	3	0,09	14,5	10	60	18
П-800	12,6	11	3 000	600	0	—160	1 900	800	450	4,5	0,004	7,3	0,05	25	30	20	19
RL-48P15	4,8	0,68	400	200	0	—15	200	12	15	4,0	0,004	3	0,15	11,5	14	60	17
RL-12P35	12,6	0,7	800	200	0	—	600	35	35	2,8	0,01	—	0,05	18,5	9,5	60	20
RS-391	12,6	1,4	1 500	450	0	—	500	100	110	5,0	0,005	—	—	—	—	60	20
LS-50	12,6	0,68	1 000	300	0	—25	360	50	40	5,0	0,004	3	0,09	13,5	11	120	18
RS-384	12,6	9	3 000	600	0	—160	2 000	800	450	5,0	0,004	7	0,05	24	31	50	19

СОДЕРЖАНИЕ

Цена 4 р. 10 к.